



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOVÁNÍ TĚLA STŘELY

HOT FORGING OF PROJECTILE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Frydrych

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Frydrych**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kování těla střely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Těla střel velkých ráží jsou tlustostěnné ocelové nádoby s proměnnou tloušťkou stěny. Oba konce střely mají tvar ogivalů, přičemž jeden ogival je otevřený (tzv. zadní) a jeden je uzavřený. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti těla střely z materiálu S355J2 a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby řešené součásti.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnotit technologičnost řešené součásti.
- Analyzovat možné způsoby výroby řešené součásti se zhodnocením jejich vhodnosti.
- Vybrat optimální technologii výroby a pro zvolenou výrobní technologii zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Pro zvolenou operaci zpracovat výkresovou dokumentaci nástroje.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. (2007): Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

JANKOVÝCH, Róbert (2012): Hlavňové zbraně a střelivo, Vysoké učení technické v Brně, ISBN 978-80-260-2384-5.

LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. (1999): Strojírenská technologie II, Technologie ve výrobě zbraní a munice. 169 s.VA Brno.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. (2004): Vol.14. USA ASM International. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk. (2008): Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany. 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

FRYDRYCH Jan: Kování těla střely.

Práce předkládá návrh technologie výroby těla dělostřeleckého granátu – tlustostěnného dílce z nelegované oceli 11 503. Na základě rešerše problematiky zápustkového kování a vyhotovených výpočtů byl navržen postup kování na speciální lince, která se skládá ze dvou kovacích lisů. Lisy umožňují použít metodu, kdy je výkovek protažen přes několik kladek. Tímto dochází k postupnému zmenšování vnitřního průměru a vytvoření požadovaného tvaru součásti. Nástroje a zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 552.

Klíčová slova: Ocel 11 503, zápustkové kování, výkovek, ogival

ABSTRACT

FRYDRYCH Jan: Hot forging of projectile.

The project elaborated design of technology production of artillery shell – thick walled component from plain steel 11 503. Based on the research of press forging and calculations, it was proposed to forge with production line which contains two forging presses. These allow us to use special way of forging. The forged piece is broached through several pulleys and its diameter is slowly getting smaller and required form is made. Forging tools and forging dies are made from steel 19 552.

Keywords: 11 503 steel, press forging, forged piece, ogival

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRYDRYCH, Jan. *Kování těla střely*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116385>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňkovi Lidmilovi, CSc. za ochotu, trpělivost a za cenné rady a připomínky týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Vítovi Černému za pomoc při tvorbě korektury a v neposlední řadě děkuji své rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost během celého mého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Výrobní možnosti	11
2 TVÁŘENÍ	13
2.1 Podstata plastické deformace	13
2.2 Tvařitelnost a možnosti jejího ovlivňování	14
2.3 Základní rozdělení tváření	15
2.4 Zápustkové kování	16
2.4.1 Konstrukce výkovku	17
2.5 Návrh a příprava polotovaru	18
2.6 Stanovení typu a potřebné velikosti kovacího stroje	20
2.7 Technologický postup kování	22
2.8 Konstrukce zápustky	22
2.9 Zápustkové kování dutých těles	23
3 TECHNOLOGICKÝ PROCES KOVÁNÍ GRANÁTU	27
3.1 Určení výkovku	27
3.2 Rozvinutí tvaru granátu	28
3.3 Zhotovení tvaru výkovku po protažení a výpočet jeho objemu	30
3.4 Rozměry děrovaného výkovku	32
3.4.1 Celková délka děrovaného výkovku	32
3.4.2 Výpočet vnějšího průměru děrovaného výkovku	33
3.5 Předděrování a výpočet výchozího polotovaru	33
3.6 Volba stroje a nástrojů	35
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36
4.1 Náklady na výrobu nástrojů	36
4.2 Náklady na výrobu kováním	38
5 ZÁVĚRY	41

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [15], [3], [5], [6], [9]

V současné výrobě munice a zbraní zaujímá technologie tváření velmi důležité místo. Důvody této významnosti jsou především vysoká hospodárnost využití materiálu, úspora výrobního času a vysoká produktivita. Tváření kovů a slitin je obor beztržkového zpracování a představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary konkrétní tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu. Tvářením se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování, ale i hotové výrobky. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se uplatňuje v sériové i v hromadné výrobě. Z široké základny tvářecích metod bude v této práci věnována pozornost technologii kování.

Výroba součástí kováním se uplatňuje při výrobě prakticky všech druhů objemově tvářených součástí. Kování je široký pojem, kterým se zpravidla rozumí objemové tváření za nadrekrytalizačních (kovacích) teplot. V posledních letech je v objemovém tváření využíváno metod, které se svým charakterem řadí mezi kování a to jak při tváření za poloohřevu, tak za studena. Výrazná odlišnost při výrobě munice od podobných výrobků spotřebního zboží spočívá hlavně v požadavku na rozsáhlé a důsledné kontroly, kdy výsledkem je zajištění jak kvality výrobku, tak i jednotnosti tvaru a to ve velmi úzkých tolerancích. Existuje několik druhů kování, které se lze dělit z různých hledisek. Například podle charakteru toku materiálu, podle použité plochy, podle použitého kovacího nástroje, podle přesnosti výkovku. Příklady zápusťkových výkovků jsou na obr. 1.



Obr. 1 Příklady zápusťkových výkovků [9]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [3], [2], [17], [18]

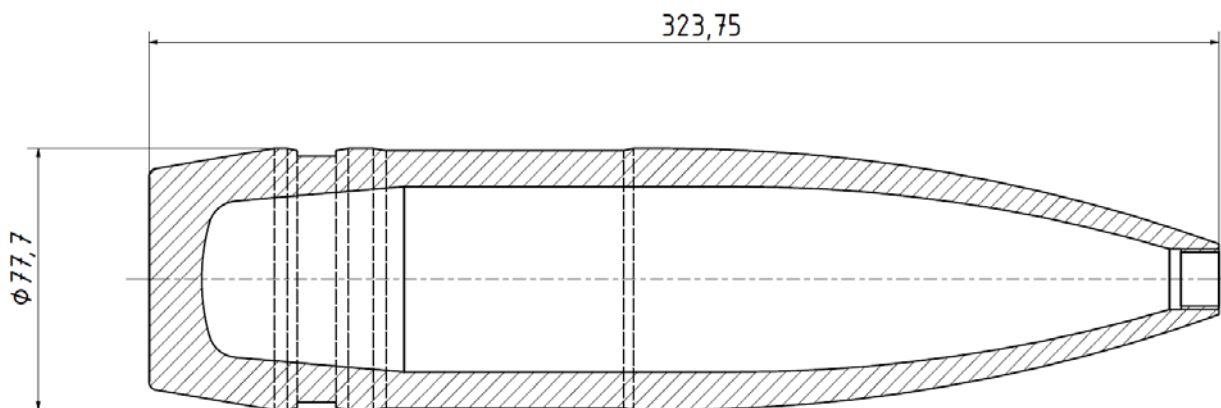
Řešenou součástí je dělostřelecký granát používaný u nejmenovaného typu děla. Tvar granátu odpovídá duté tlustostěnné nádobě s proměnnou tloušťkou. Oba konce granátu mají tvar ogivalů, přičemž jeden ogival je otevřený a druhý uzavřený. Přední část přechází z ogivalu ve válcovou část opatřenou zápichem pro jeden vodící kroužek. V dutině ve špičce granátu je vyroben závit pro zašroubování nárazového zapalovače. Tvar těla granátu je na obr. 2. Jedná se tedy o nárazový granát s tříštivým účinkem v místě dopadu. Jeho tvar se všemi rozměry je uveden na výkrese č. 1. Délka granátu je 323,75 mm a největší průměr 77,7 mm, příklad přímého řezu na obr. 3. Výrobní série činí 200 000 kusů.

Podmínkou u výroby granátu je garantování stálých vlastností výrobku po dobu jeho skladování. Záruční lhůty se pohybují od 10 do 15 let, nebo i déle, a během této doby se nesmí projevit materiálové ani rozměrové změny.

Pro zadanou součást je zvolena nelegovaná konstrukční ocel S355J (ČSN 11 503), která je dobře tvařitelná jak za tepla, tak za studena a je vhodná pro svařované konstrukce se statickým i dynamickým namáháním. Používá se pro součásti energetického zařízení tlakových nádob a na výrobu profilů a trubek. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli je podrobně popsáno v tab. 1 a 2. Při tváření za tepla splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žitání.



Obr. 2 Tvar těla dělostřeleckého granátu



Obr. 3 Základní rozměry těla granátu

Tab. 1 Chemické složení oceli 11 503 [18]

Prvek	C	Mn	Si	P	S
Chemické složení v hm. %	0,2 – 0,22	1,6	0,55	0,025	0,025

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 503 [18]

Mez kluzu R_{eH}	Pevnost R_m	Tažnost A_{min}	Nárazová práce K_V
[MPa]	[MPa]	[%]	[J]
275 – 355	450 – 630	17 – 22	27

1.1 Výrobní možnosti [1], [6], [7], [13], [11], [12], [14], [16]

Možností výroby zadaného dělostřeleckého granátu je několik. Faktory ovlivňující způsob výroby jsou především mechanické a chemické vlastnosti materiálu. Uvažováno je i ekonomické hledisko výroby:

- Odlévání (obr. 4) – touto metodou se vytváří převážně duté předměty. Zhotovení výrobku nebo součásti probíhá tak, že je tekutý kov dopraven do dutiny formy, která má tvar budoucího odlitku, kde ztuhne a po ochlazení může být z formy vyjmut.

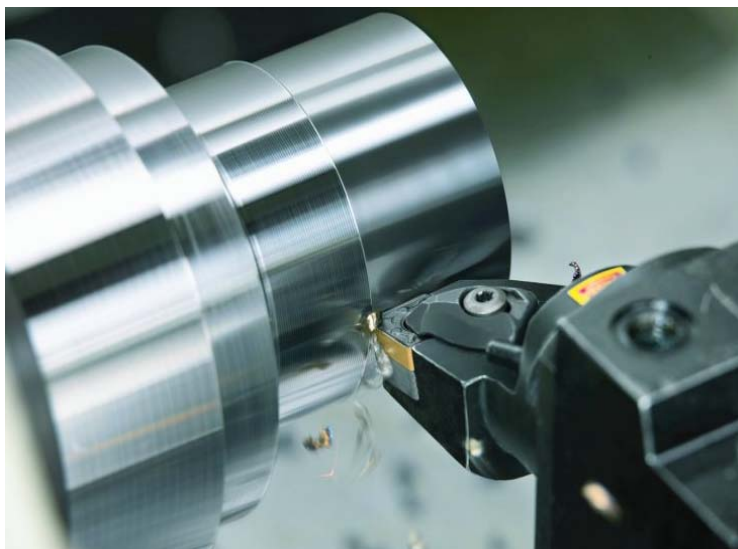
Tvarově se jedná o velmi univerzální metodu. Nevýhodou je velké smršťování materiálu při tuhnutí a vyšší pracnost při úpravě výrobku. Během odlévání a chladnutí mohou v odlitku vznikat vady (trhliny, bubliny, praskliny nebo nezaběhnutí), způsobené převážně nestejnou tloušťkou stěn. U zadané součásti je tato metoda nevhodná zvláště kvůli náročnému odstraňování jádra z vnitřní části a špatné kvality vnitřní plochy. Dutá část součásti je těžko přístupná. Došlo by k velké ztrátě materiálu. Zároveň se jedná o ocel, takže by docházelo k smrštění.



Obr. 4 Odlévání [11]

- Třískové obrábění (obr. 5) – je technologický proces, při kterém dochází k vytváření určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním materiálu pomocí řezného nástroje. Při obrábění lze dosáhnout velmi dobré přesnosti a drsnosti povrchu, proto se metoda používá pro malosériovou výrobu nebo jako dokončovací operace funkčních ploch. Při obrábění vzniká velké množství odpadu ve formě třísek a výrobní časy jsou mnohem

delší než u ostatních technologií. Zásadní nevýhodou jsou přerušená vlákna během procesu, což má za následek snížení pevnosti materiálu. Pouze obráběním zadanou součást prakticky nelze vyrobit, protože nelze zhotovit její vnitřek. Obrábění má také nízkou produktivitu a cena výroby obráběním by byla mnohem vyšší kvůli znehodnocení materiálu ve formě třísek.



Obr. 5 Třískové obrábění [12]

- Zápustkové kování (obr. 6) – tvarování materiálu dochází v dutině zápustky za kovací teploty pomocí bucharu nebo lisu. Zápustka má tvar vyráběného předkovku i s jeho přídávky. Mezi výhody této metody patří zhotovení tvarově složitých součástí, rozměrová přesnost, vysoká výrobnost, snadná obsluha stroje a příznivý průběh vláken. Nevýhody kování jsou hlavně energetická náročnost, protože se tváří celý objem výkovku najednou, a vysoké náklady z důvodu vysoké ceny nástroje, který je jednoúčelový.



Obr. 6 Zápustkové kování [16]

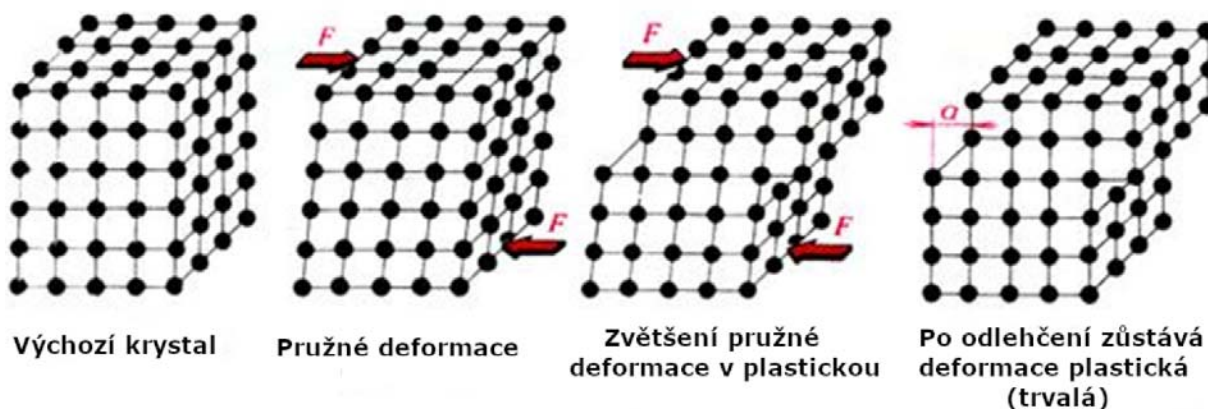
Při porovnání výše uvedených metod se jako nejlepší jeví metoda kování, konkrétně zápustkového kování. Pro tento způsob výroby bude zaměřena teoretická i praktická část.

2 TVÁŘENÍ [5], [6], [15]

Tváření je obor beztržkové zpracování, založený na schopnosti kovů a slitin plasticky se deformovat neboli na jejich tvařitelnosti. Principem tváření je působení vnějších sil, kdy dochází k přemístění objemů materiálu bez porušení jeho soudržnosti. Pokud tedy na těleso působí vnější síla, mění těleso svůj tvar při platnosti zákona stálosti objemu. Výsledkem je pak trvalá změna výchozího polotovaru. Tvářením se zpravidla zhotovují polotovary, které se svým tvarem a rozměry blíží hotovému výrobku. Využití materiálu je velmi hospodárné s minimálním odpadem.

2.1 Podstata plastické deformace [5], [15], [19]

Deformací tělesa rozumíme změnu tvaru jeho krystalové mřížky. Při působení určitou silou na těleso vzniká v tělese napětí, která vyvolá jeho deformaci. Při malém působení vnějších sil vzniká i malé napětí a deformace je pouze pružná a určena Hookovým zákonem. Po odlehčení tato deformace zmizí a těleso se vrátí do původního tvaru. Jestliže ale hodnota vnějších sil překročí určitou mez, dochází k deformaci trvalé neboli plastické. Po odlehčení zůstává těleso trvale deformováno (obr. 7). Jedná se o trvalou změnu tvaru, která je vyvolaná smykovým napětím dostatečné velikosti. Plastická deformace



Obr. 7 Schéma elastické a plastické deformace [19]

krystalických materiálů je uskutečněna pohybem dislokací neboli poruch v krystalické mřížce. Rychlost pohybu dislokací závisí na působící síle, na typu krystalové mřížky, na vazbě mezi atomy a hlavně na množství poruch v mřížce. Pohyb dislokací je však limitován dalšími poruchami v krystalové mřížce a vzájemným protínáním pohybujících se dislokací. Omezení pohybu dislokací se pak projevuje změnou vlastností deformovaného materiálu, zejména jeho deformačním zpevněním.

Charakteristická změna struktury po plastické deformaci je změna hustoty poruch. Zvětšováním stupně deformace zároveň roste i hustota poruch a vzrůstá odpor proti další plastické deformaci. Tímto se zvyšuje mez kluzu. Současně s mezí kluzu se zvyšuje také pevnost a tvrdost materiálu. Naopak tvárné vlastnosti se zhoršují a zároveň klesá houževnatost. Dochází tedy ke změně mechanických vlastností, což je obecně označováno jako zpevnění. Zvýšení pevnostních hodnot je v mnoha případech nežádoucí, zejména při víceoperačních tvářecích procesech, často je však naopak využíváno pro zajištění požadovaných pevnostních vlastností tvářených součástí. Oproti změně mechanických vlastností způsobuje deformační zpevnění také snížení elektrické a tepelné vodivosti, snížení odolnosti vůči chemickým vlivům a korozi, což může být u určitých výrobků rozhodujícím faktorem. Návrat do stabilní struktury ze struktury deformované nemůže nastat samovolným způsobem, ale pouze při vyšších teplotách. Dochází zde k teplotně aktivovaným jevům, ke kterým patří: zotavení, rekrytalizace, růst zrn, stárnutí.

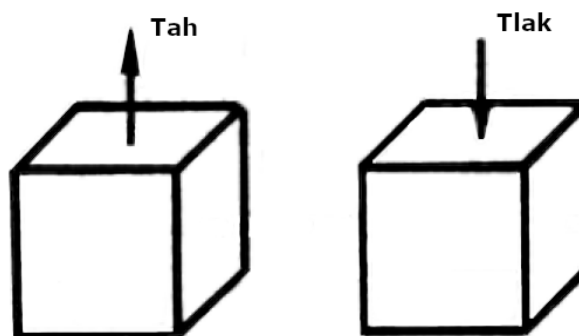
2.2 Tvařitelnost a možnosti jejího ovlivňování [5], [15], [1]

Tvařitelnost materiálů je dána jeho chemickým složením a stavem struktury. Je ji ale možno ovlivňovat, protože se na plastickém přetvoření materiálů během tvářecích procesů podílí několik faktorů. Nejdůležitější z nich jsou teplota, rychlost a velikost deformace, stav napjatosti a vnější tření. Tyto faktory mají dále vliv na velikost deformačního odporu tvářeného materiálu, potřebnou tvářecí sílu a práci:

- Stav napjatosti – je charakterizován v libovolném bodě tvářeného tělesa pomocí elementární krychle s příslušnými hlavními napětími (tahovým nebo tlakovým), které v tomto bodě působí (obr. 8).

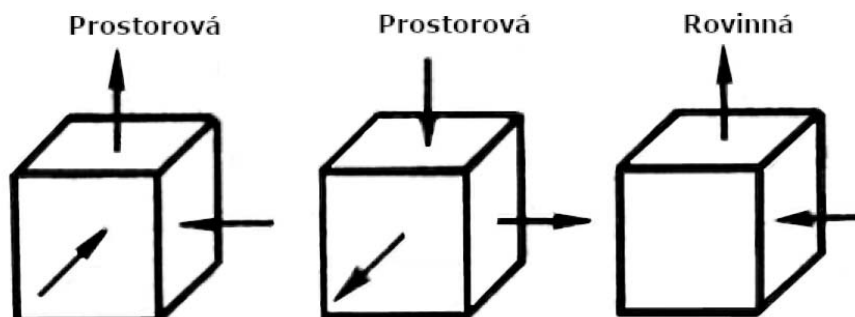
Tvařitelnost není stejná pro všechny stavy napjatosti, ale vzrůstá s počtem tlakových napětí. Největší deformační schopnost vykazuje materiál podrobený trojosému tlaku.

- Deformace – podobně jako stav napjatosti lze vyhodnotit i schéma hlavních deformací pomocí elementární krychle. Stav deformace je definován třemi složkami hlavních deformací, které jsou udávány směrem a smyslem. Existují pouze tři druhy schémat deformace (obr. 9). Zatímco tedy



Obr. 8 Základní schéma hlavních napětí

napjatost může být jednoosá, deformace je vždy víceosá. Mechanická schémata deformace jsou základním ukazatelem při hodnocení a rozboru tvářecích operací.



Obr. 9 Schéma deformace (tahová, tlaková, smyková)

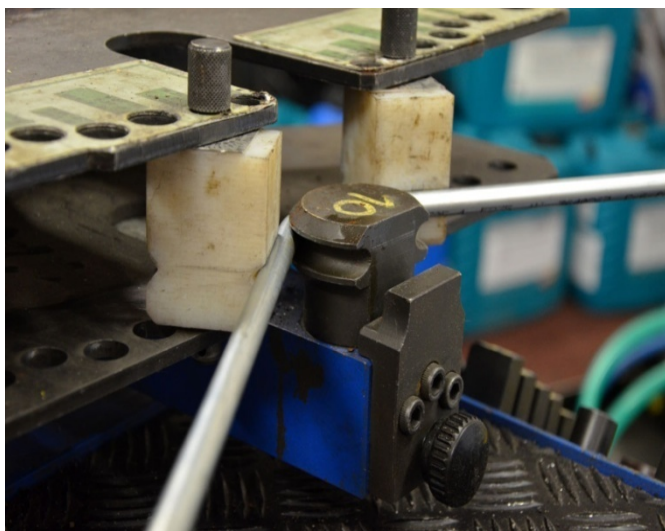
Dokážeme z nich zjistit vlivy provázející plastickou deformaci, jako např. usměrnění vláken, deformační odpor, velikost a orientaci zrn apod.

- Teplota – podstatně ovlivňuje přetvárný odpor tvářeného materiálu a s ním i stupeň přetvoření. Obecně platí, že se zvyšující se teplotou se zvyšují také plastické vlastnosti kovů, což je klíčové pro jejich tvařitelnost. Při vzrůstající teplotě se mění mechanické vlastnosti kovů, zvyšuje se tažnost a klesá pevnost. Na základě toho je i síla potřebná ke tváření menší.
- Rychlost deformace – pokud rychlost deformace roste, zvětšuje se odpor materiálu proti deformaci a jeho tvárnost se zmenšuje. Deformační rychlost je charakterizována jako přírůstek deformace za jednotku času. Závisí na výšce tvářené součásti a na rychlosti pohybu nástroje.

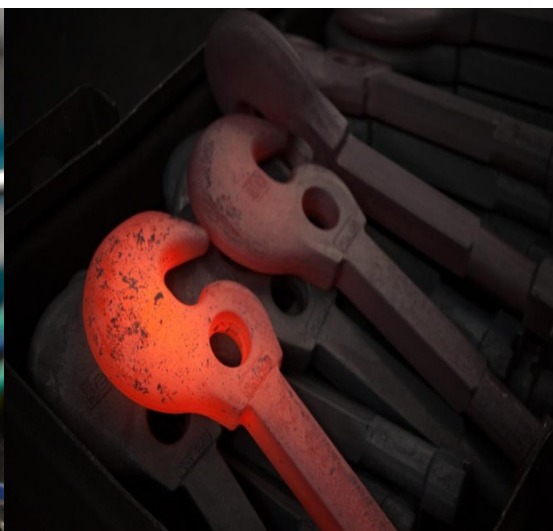
- Vnější tření – vyskytuje se u všech tvářecích operací. Způsobuje nerovnoměrné rozložení napětí a deformace v tvářeném tělese. Tření snižuje tvárnost materiálu, zmenšuje trvanlivost tvářecích nástrojů a zvyšuje deformační odpor. Na velikosti tření závisí velikost energie potřebné k deformaci. Na jeho velikost má vliv několik činitelů – chemické složení, fyzikální stav materiálu, rychlost deformace, teplota, měrný tlak a další. Nicméně tření má v některých oblastech tváření i kladný účinek, například válcování by se bez vnějšího tření nemohlo vůbec uskutečnit.

2.3 Základní rozdělení tváření [5], [6], [20]

V současné době existuje velké množství technologických tvářecích procesů, které můžeme členit z nejrozličnějších hledisek. Jsou to například: teplota tvářeného materiálu, tepelný efekt, účinek tvářecí síly, způsob práce. Základní dělení tváření je ovšem na tváření plošné a objemové. Plošným tvářením se dosáhne požadovaného tvaru bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu, v tvářeném materiálu převládá plošný stav napjatosti a deformace. Mezi plošné tváření se řadí operace stříhání, ohýbání a tažení plechu. Příklad operace ohýbání je na obr. 10. U objemového tváření je dosaženo požadovaného tvaru součásti při změně tvaru nebo průřezu výchozího materiálu, v tvářeném materiálu převládá objemový stav napjatosti a deformace. Tváření objemové je uskutečňováno buď pod rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za studena) nebo nad rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za tepla). Tváření za studena zahrnuje operace např. pěchování, protlačování, ražení a tváření za tepla např. volné a zápustkové kování. s ohledem na řešený problém bude literární rešerše dále věnována zápustkovému kování. Příklad výkovků na obr. 11.



Obr. 10 Ohýbání trubek [20]



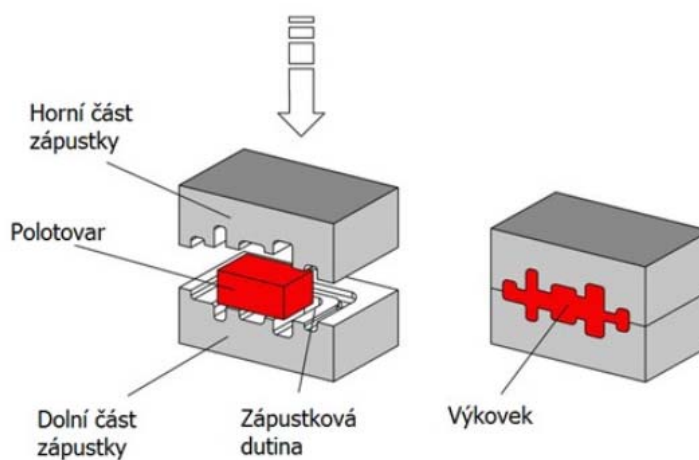
Obr. 11 Výkovky [21]

2.4 Zápustkové kování [1], [3], [8], [6], [10], [4]

Technologie zápustkového kování patří do tváření objemového a dochází u něj k trvalé změně tvaru materiálu. Princip spočívá ve tvarování výkovku z polotovaru v dutině nástroje, tj. kovací zápustky.

Dutina má tvar vyráběného předkovku a řídí a usměrňuje tok kovu. Příklad zápustkového kování na obr. 12. Pomocí jedné zápustky lze kovat pouze jednoduše tvarované součásti.

Tvarově složitější se předkovají ve více zápustkách do tvaru blížícího se výslednému výkovku. Zápustka se skládá z horní a dolní části, kdy horní část je upnuta k pohyblivému se beranu bucharu nebo lisu a dolní část je upnuta na stole bucharu nebo lisu. Kování se realizuje v otevřené nebo v uzavřené v zápustce. U kování s otevřenou zápustkou je



Obr.12 Zápustkové kování [10]

přebytečný materiál vytlačován do tvarové mezery mezi horní a dolní zápustkou, která se nazývá výronková drážka. Ta se vytváří v dělicí rovině a umísťuje se do zápustek z několika důvodů:

- vyrovnává objemové rozdíly výchozího polotovaru
- klade odpor proti vytékání kovu ze zápustkové dutiny, což podporuje její dokonalé zaplnění
- tlumí rázy při vzájemném dosednutí dílů zápustky

Existuje však i kování bezvýronkové, je ale potřeba velmi přesných výpočtů objemu polotovaru. U kování v uzavřené zápustce výronková drážka není potřeba, protože kov dutinu dokonale vyplňuje a výkovek je kován na hotovo.

Zápustkové kování nejčastěji probíhá za kovacích teplot, ale může se provádět i za poloohřevu a za studena. Za rostoucí teploty klesá deformační odpor a vysoce se zvyšuje tvařitelnost materiálu. Při značném zvýšení teplot nad teploty kovací může dojít k nepříznivému vzniku opalu, který má za následek zhoršení mechanických vlastností povrchu materiálu a následnou ztrátu materiálu.

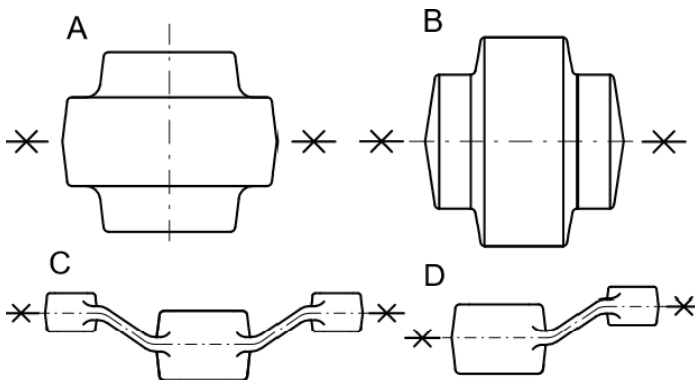
Technologický proces kování se zpravidla dělí na předkování a dokování v závislosti na složitosti, tvaru ale i použitém kovacím stroji. Odlišnosti ve způsobu zatékání kovu do dutiny zápustky jsou hlavním faktorem ovlivňujícím jak volbu tvářecího stroje, tak rozsah předběžného předkování výchozího polotovaru. Konstrukci a přesnost výkovku ovlivňuje mnoho technologických parametrů, které je nutno stanovit již při návrhu. Pro realizaci technologie kování je tedy třeba:

- zpracovat výkres výkovku – na výkrese musí být stanoveno vše potřebné k dosažení dokonalého výkovku
- stanovit tvar a rozměry polotovaru – znamená to hlavně stanovení potřebného objemu materiálu, který zahrnuje objem vlastního výkovku, objem kovu, který vyteče ze zápustky jako výronek a přídavek na opal při ohřevu
- sestavit postup kování – podle složitosti výkovku se jeho tváření děje buď v jedné nebo více dutinách zápustky
- vypočítat potřebnou velikost kovacího stroje
- zkonstruovat (předkovací a dokovací) zápustky
- stanovit způsob odstřihování výronku

2.4.1 Konstrukce výkovku [1], [4], [22], [23]

Pro zpracování výkovku a jeho rozměrů se vychází z výkresové dokumentace součásti, která má být kováním zhotovena. Nejvhodnější tvar výkovku je určen podle několika pravidel a technologických postupů. Při návrhu výkovku je třeba určit:

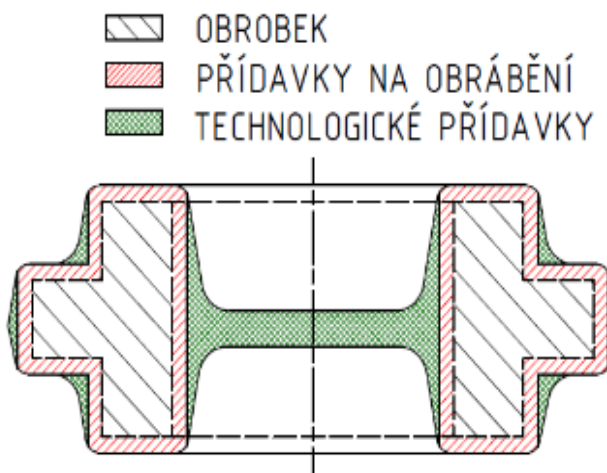
- Dělicí rovinu – ta rozděljuje výkovek na část kovanou v horní a dolní zápustce tak, aby bylo možné výkovek co nejlépe vyjmout ze zápustkové dutiny. Dělicí rovina výrazně ovlivňuje tok materiálu v dutině a musí být vedena největším průřezem výkovku. Na její poloze závisí výsledný průběh vláken ve výkovku. Dělicí plocha by měla být rovná buď kolmo na hlavní osu výkovku (obr. 13a), nebo ve směru hlavní osy výkovku (obr. 13b). Její tvar může být v nutných případech lomený (obr. 13c a 13d) a to i ve více směrech. Dělicí rovina by měla být zvolena tak, aby odpor při zatékání kovu do dutiny byl co nejmenší.



Obr.13 Příklad dělicích rovin [22]

- Přídavky na obrábění – nutné pro získání požadované rozměrové přesnosti a drsnosti povrchu součásti na plochách, na nichž je předepsané mechanické obrábění. Velikost přídavků se stanovuje v závislosti na používané normě.
- Přídavky technologické – používají se pro zjednodušení tvaru výkovku tak, aby byl z technologického hlediska vhodný ke kováni. Především se jedná o úkosity na stěnách výkovku, zaoblení hran, blány v otvorech a zvětšení tloušťky tenkých stěn, kterou lze ekonomicky a kvalitně vykovat. Typický příklad výkovku s přídavky je na obr. 14. Mezi technologické přídavky patří:

- Úkosity – jsou nutné na plochách výkovku, které jsou kolmé k dělicí ploše zápustky za účelem snadného vyjmutí výkovku. Na vnitřních plochách jsou úkosity voleny větší, než na plochách vnějších a to z důvodu ochlazování a smršťování výkovku, který je ve styku se zápustkou.



Obr.14 Výkovek s přídavky [23]

Velikost úkосу se liší podle použitého stroje, běžně se ale používají vnější úkosity na stěnách 3° a vnitřní úkosity 7° . Úkosity zápustkových výkovků doporučené normou ČSN 42 9030 jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Úkosy zápusťkových výkovků [1]

Úkosy zápusťkových výkovku na plochách	vnější	vnitřní
Pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Pro lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
Pro výkovky kované na vodorovných strojích	0° až 5°	0° až 5°

- Zaoblení hran a přechodů – je prováděno vzhledem k zatékání kovu, který by ostrou hranu nevyplnil. Ostré hrany způsobují také rychlé opotřebení a mohou zapříčinit prasknutí zápusťky. Vnitřní a vnější zaoblení hran je rozdílné. Podobně jako u úkosů se vnitřní rádiusy volí cca 2,5krát větší. Samotná velikost zaoblení lze určit z příslušných tabulek, z normy či jiné literatury.

2.5 Návrh a příprava polotovaru [1], [6], [15], [25]

U kování se využívají většinou polotovary zhotovené válcováním za tepla, a to hlavně kruhové či čtvercové tyče, tlustostěnné trubky nebo polotovary protlačované a tažené. Velikost výchozího polotovaru se určuje z objemu materiálu potřebného pro výkovek. Potřebná velikost polotovaru se stanoví:

$$V_{pol} = V_v + V_{výr} + V_o \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.1)$$

kde: V_{pol} – objem polotovaru [mm³]

V_v – objem výkovku [mm³]

$V_{výr}$ – objem materiálu spotřebovaného na výronek = $(0,6 \text{ až } 0,8) \cdot V_d$ kde V_d je objem výronkové drážky [mm³]

V_o – objem materiálu spotřebovaný na opal, který závisí na způsobu ohřevu [mm³]:

- pro ohřev v plynové peci je $V_o = (0,025 \text{ až } 0,03) V_v$
- pro elektrickou odporovou pec je $V_o = (0,01 \text{ až } 0,015) V_v$
- pro indukční ohřev je $V_o = (0,005 \text{ až } 0,01) V_v$

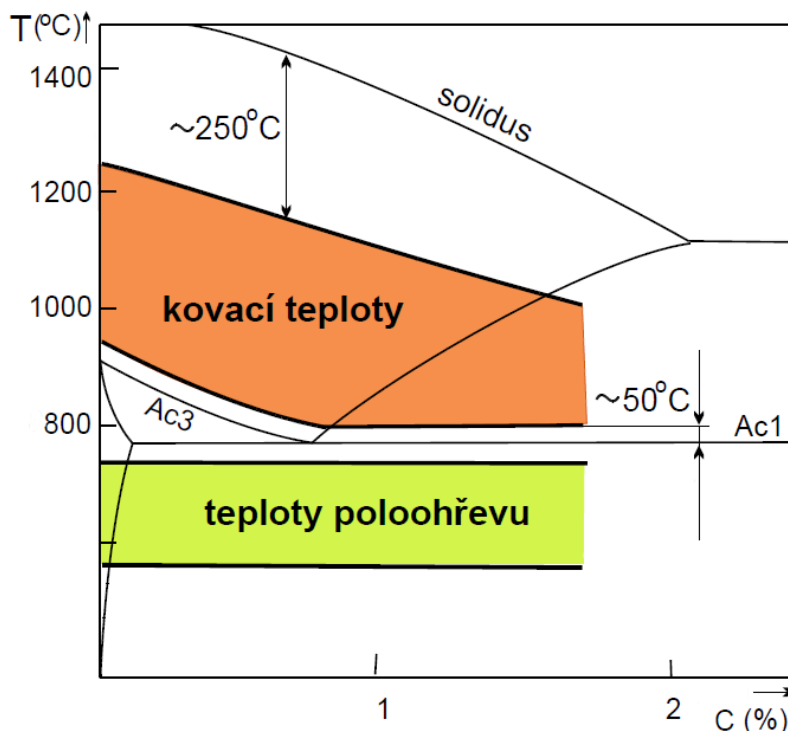
Dělení materiálu na konkrétní délky se nejčastěji provádí:

- Řezáním – princip spočívá v dělení materiálu pásovou nebo kotoučovou pilou. Používá se především u materiálů s nízkou pevností a jedná se o poměrně málo produktivní metodu. Výhodou řezání je, že polotovar je nezdeformovaný, proto se tato metoda používá pro přesné výkovky nebo malé série.
- Stříháním – jedná se o dělení především tyčových polotovarů pomocí působení dvou břitů, pohybujících se proti sobě. Stříhání je nejlevnější a nejvýkonnější způsob dělení, proto se jedná o nejčastěji používanou metodu. Nevýhoda dělení materiálu tímto způsobem je horší kvalita střížné plochy.
- Lámáním – probíhá tak, že je na polotovaru vytvořen vrub. Působením sil vzniká koncentrované napětí a polotovar se v místě vrubu rozlomí. Lámání se používá především na materiálech s vysokou pevností. Jeho výhodou je velká produktivita a nevýhodou je horší kvalita plochy v místě lomu.

Kvůli správné tvárnosti materiálu je základním předpokladem kování dodržení určité kovací teploty, respektive určitého teplotního intervalu. Teplota závisí na druhu kovaného materiálu a jeho chemickém složení. Kování polotovaru se provádí:

- Za studena – pro oceli s obsahem $C < 0,45 \%$ a převážně rotační, jednoduché tvary menších výkovků
- Za poloohřevu ($550 - 700^\circ\text{C}$) – pro všechny konstrukční oceli a převážně rotační a osově symetrické tvary výkovků
- Za tepla ($1000 - 1200^\circ\text{C}$) – pro všechny oceli a všechny tvary výkovků

Rozsah kovací teplot je na obr. 15, kdy horní kovací teplota je asi 150 – 250°C pod teplotou solidu a dolní kovací teplota je maximálně 50° C nad A_1 . Při vyšších teplotách se materiál snáze kove, protože má nízký deformační odpor, ale zároveň vzniká v materiálu nebezpečí zhrubnutí zrna a může dojít ke spálení materiálu. Spálením vzniká ztráta váhy nebo i celé ohřívané součásti, protože spálený materiál již nelze regenerovat. Hrubé zrna ve výkovech se odstraňuje normalizačním žháním. K dalším vadám vzniklých při nesprávném způsobu ohřevu patří oxidace a vznik okují. Okuje se na ocelových polotovarech začínají tvořit nad 700°C působením kyslíku. Nad teplotou 1000°C se vytvářejí velmi intenzivně a jejich přítomnost na povrchu součásti zhoršuje přesnost a jakost povrchu. Pro porovnání kovací teplot vybraných ocelí je uvedeno několik příkladů v tab. 4.



Obr.15 Tvářecí teploty [1]

Tab. 4 Kovací teploty ocelí [25]

Ocel (ČSN)	Horní kovací tep. [°C]	Dolní kovací tep. [°C]
11 503	1250	750
14 240	1200	800
16 240	1150	800
19 830	1100	900

Pro ohřev polotovarů v kovárnách se používají elektrické a plynové pece. Jejich konstrukce se liší v závislosti na výkonu pece, velikosti ohříváných polotovarů a zdroje tepla. U zápusťkového kování se může použít více metod ohřevu materiálu:

- Ohřev přímým průchodem proudu – je vhodný pro štíhlé polotovary (trubky, dráty, tyče...), a jeho princip je v zavedení proudu do polotovaru pomocí speciálních elektrod z transformátoru. Výhodou přímého odporového ohřevu je malá spotřeba energie, jednoduchost a velká rychlost ohřevu. U velkých ohříváných průměrů však vznikají problémy s přiváděním proudu. Nelze také ohřát určitý úsek, ale pouze celou součást.
- Nepřímý odporový ohřev – realizuje se pomocí odporových článků zabudovaných do komorových pecí. Jeho využití je především u barevných kovů. V porovnání s ostatními způsoby ohřevu je tento způsob pomalý a dnes často nahrazován indukčním ohřevem.

- Indukční ohřev – podstata ohřevu spočívá v indukovaní vířivých proudů v materiálu umístěném v magnetickém poli cívky. Vířivé proudy dosahují velkých hodnot a materiál se jimi rychle ohřívá. Indukční ohřev se většinou využívá k rychlému ohřátí stejných kusů kruhového nebo profilového průřezu. Výhodou je operativnost ohřevu a snadná mechanizace a automatizace procesu.

2.6 Stanovení typu a potřebné velikosti kovacího stroje [1], [4], [27]

Zápustkové kování lze provádět na dvou rozdílných typech strojů a to buď na bucharu nebo lisu. Volbou stroje je ovlivněna konstrukce zápustek a jejich upínání:

Kování na bucharách (obr. 16) – princip bucharu spočívá ve využití pohybové energie padajícího beranu na ohřátý materiál. Schopnost bucharu přetvořit výkovek do požadovaného tvaru, dané dokončovací dutinou zápustky, je určeno maximální energií beranu. Ten je uložen ve vertikální poloze kolmo k pracovnímu stolu. Výhodou bucharů je malá energetická náročnost a široká využitelnost. Nevýhodou je nižší přesnost výroby z důvodu horšího vedení zápustek a produktivita procesu. Velikost bucharu je závislá na potřebné práci posledního úderu, kdy je odpor tvářeného materiálu proti deformaci největší.



Obr.16 Buchar KHZ 4A [27]

Pro kruhový výkovek platí vztah:

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot (1,1 + \frac{2}{D_D})^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot \sigma_P \quad [\text{J}] \quad (2.2)$$

kde: A – práce posledního úderu pro kruhový výkovek [J]

D_D – průměr výkovku [cm]

σ_P – přetvárný odpor za kovací teploty [MPa]

Pro nekruhový výkovek platí vztah:

$$A_n = A \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_d}{D_{dstř}}} \right) \quad [\text{J}] \quad (2.3)$$

kde: A_n – práce posledního úderu pro nekruhový výkovek [J]

L_d – délka výkovku [cm]

$D_{dstř}$ – střední šířka výkovku [cm]

Kování na svislých kovacíh lisech (obr. 17) – způsob kování na lisech se od kování na bucharech výrazně liší. Pracovní rychlost lisů je asi 10krát menší než u bucharů a účinek nástroje na deformovaný materiál je tedy tlakový, nikoliv rázový. Doba styku horní poloviny zápustky s tvářeným kovem je delší než u bucharu, a to přispívá k rovnoměrnější deformaci v celém tvářeném objemu materiálu. S ohledem na stálý zdvih lisu na něm nelze uplatnit některé přípravné operace jako je prodlužování a rozdělování materiálů podél osy výkovků. Proto je předkování tvarově složitějších výkovků uskutečňováno na doplňkovém tvářecím zařízení, což bývají většinou válcovací stroje. Krátký čas potřebný ke kování v lise klade vysoké požadavky na rychlost a operativnost ohřevu. Proto jsou kovací pracoviště s lisy téměř pokaždé vybavena indukčním ohřevem. Nevýhodou kovacíh lisů je možné zakovávání okují do povrchu výkovku, čemuž je ale možné předejít zařazením pýchování do technologického postupu.



Obr.17 Svislý kovací lis LZK
2500 P/SH [28]

Výpočet kovací síly vychází především z přirozeného deformačního odporu materiálu za kovací teploty a velikosti výkovku. Velikost síly je však také ovlivněna tvarem výkovku, rozměry výronkové drážky a velikosti tření, které působí na styčné ploše tvářeného kovu a dutiny zápustky. Velikost kovací síly lze například vypočítat:

Pro kruhový výkovek:

$$F = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b_v}{2h_v} \right) \cdot S_{v\dot{y}r} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{d}{h_v} + 2 \frac{h_v}{d_v} \right) + \frac{b_v}{h_v} - 0,375 \right] \cdot S_{v\dot{y}k} \right\} [\text{N}] \quad (2.4)$$

kde: σ_p – přetvárný odpor za kovací teploty [MPa]

b_v – délka můstku výronkové drážky [mm]

h_v – výška můstku výronkové drážky [mm]

$S_{v\dot{y}r}$ – plocha výronkové drážky [mm²]

d_v – průměr výkovku [mm]

$S_{v\dot{y}k}$ – plocha výkovku [mm²]

Pro hranatý výkovek:

$$F = \sigma_p \cdot \left\{ \left(1,5 + \frac{b_v}{2h_v} \right) \cdot S_{v\dot{y}r} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{a}{h_v} + 2 \frac{h_v}{a} \right) + \frac{b_v}{h_v} - 0,25 \right] \cdot S_{v\dot{y}k} \right\} [\text{N}] \quad (2.5)$$

kde: σ_p – přetvárný odpor za kovací teploty [MPa]

b_v – délka můstku výronkové drážky [mm]

h_v – výška můstku výronkové drážky [mm]

$S_{v\dot{y}r}$ – plocha výronkové drážky [mm²]

a – velikost hrany výkovku [mm]

$S_{v\dot{y}k}$ – plocha výkovku [mm²]

2.7 Technologický postup kování [1], [4],

Postup zhotovení výkovku spočívá zpravidla v předkování polotovaru, kování konečného tvaru (dokování) a ostřížení výronku. Při předkování se získá předkovek, který se tvarem blíží hotovému výkovku a současně se z povrchu ohřátého materiálu odstraní okuje. Předkování je nezbytné u složitých tvarů výkovků a to zejména u součástí podélných s proměnným průřezem, se stranovými výstupky a s ohnutou hlavní osou. Předkovek se získá:

- a) Na samotném tvářecím stroji nebo na jiném stroji – v závislosti na složitosti tvaru výkovku a použitém kovací zařízení
- b) V postupové zápustce – bývá umístěna přímo v zápustkovém bucharu a výkovek je přenášen z jedné dutiny do druhé.

Kováním v dokovací operaci se zhotovuje hotový výkovek s výronkem a případně blánami v otvorech. Zpravidla bezprostředně po dokování se výronek odstříhuje i s případným prostřížením blan na ostříhovacím stroji.

2.8 Konstrukce zápustky [1], [5], [6], [8], [4]

Zápustkové dutiny nejsou vytvořeny v jednom masivním bloku, ale každá samostatně v zápustkové vložce (zápustce). V pracovním prostoru jsou upnuty pomocí držáku, který zajišťuje dokonalé středění horních i dolních zápustkových vložek.

Pro zápustky svislých kovacích strojů je nutné určit:

- Vnější rozměry zápustky a tvary kovacích dutin – vychází se z rozměrů výkovku a hodnot smrštění materiálu (pro ocel 1%)
- Rozměry a tvary výronkové drážky – kde drážku tvoří zásobník a můstek. Můstek je regulátorem tlaku kovu v dutině. Šířka můstku se volí podle síly kovacího stroje zpravidla 6 - 25 mm.

Výpočet výšky můstku:

$$h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

kde: S_v – obsah plochy výkovku kolmé ke směru pohybu beranu [mm^2]

Velikost zaoblení výronkové drážky:

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

kde: S_v – obsah plochy výkovku kolmé ke směru pohybu beranu [mm^2]
 H_D – vzdálenost mezi dnem výkovku a dělicí rovinou [mm]

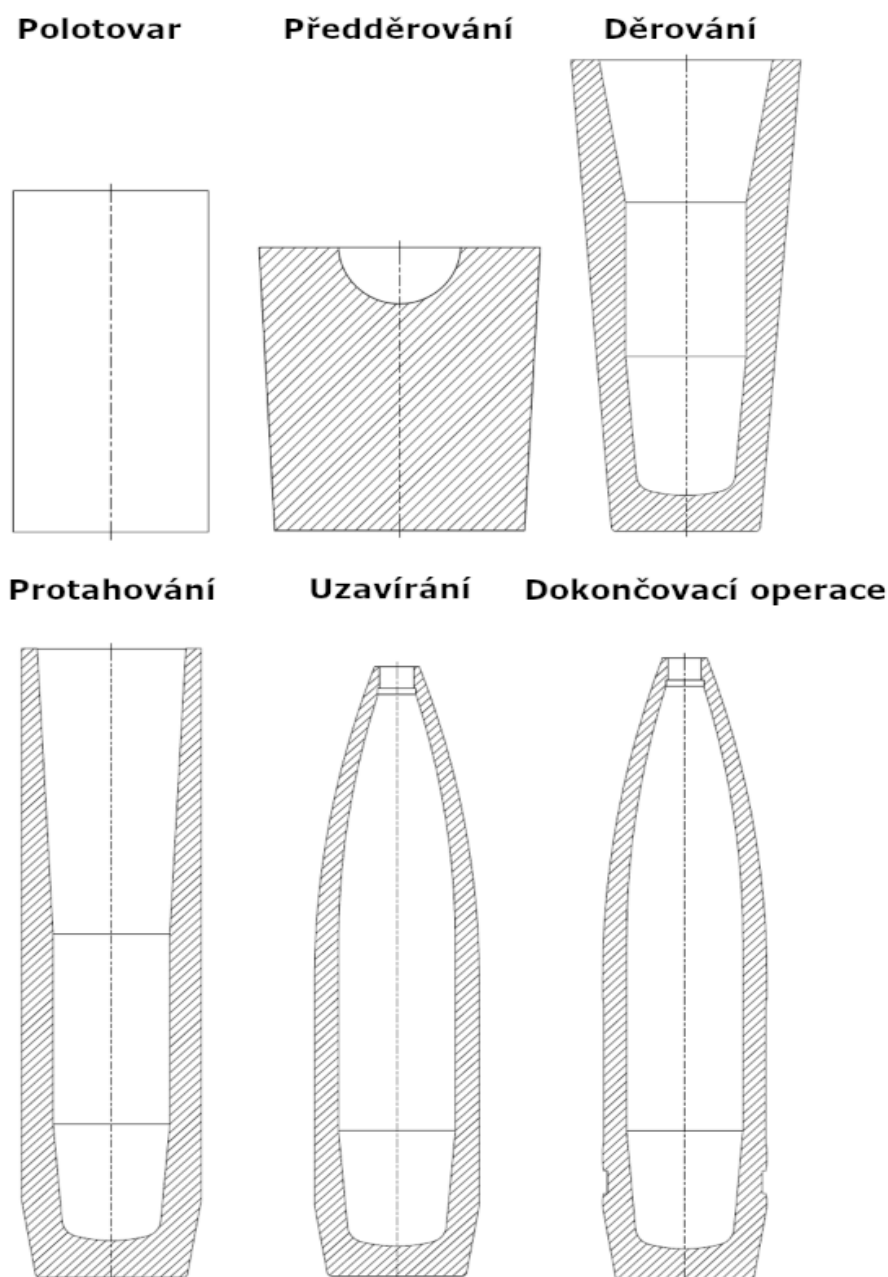
- Odhad potřebné tvářecí síly – dle přibližných hodnot pomocí nomogramů
- Poloha a tvar dělicí roviny – dělicí rovina symetrických součástí prochází jejich osou
- Způsob odstraňování výkovků – existuje více způsobů: vyjímání, stírání, vyhazování
- Druh vedení zápustek – pomocí podélných a příčných lišt, křížovým vedením, vodícími kolíky
- Způsob upínání zápustky – pomocí držáku

2.9 Zápustkové kování dutých těles [2], [1], [3], [4], [26]

Mimo standardní technologické postupy kování, které byly popsány v předchozích kapitolách, se v kovárnách u specifických tvarů výkovku využívají i nestandardní technologie. K takovýmto postupům patří i technologie kování dutých těles. Dutá tělesa představují hluboké tlustostěnné nádoby, zpravidla velkých rozměrů, jejichž vnější ani vnitřní povrch není válcový. Některé tyto výkovky, což je případ i dělostřeleckých granátů viz obr. 3, mají pak na obou stranách ogivaly.

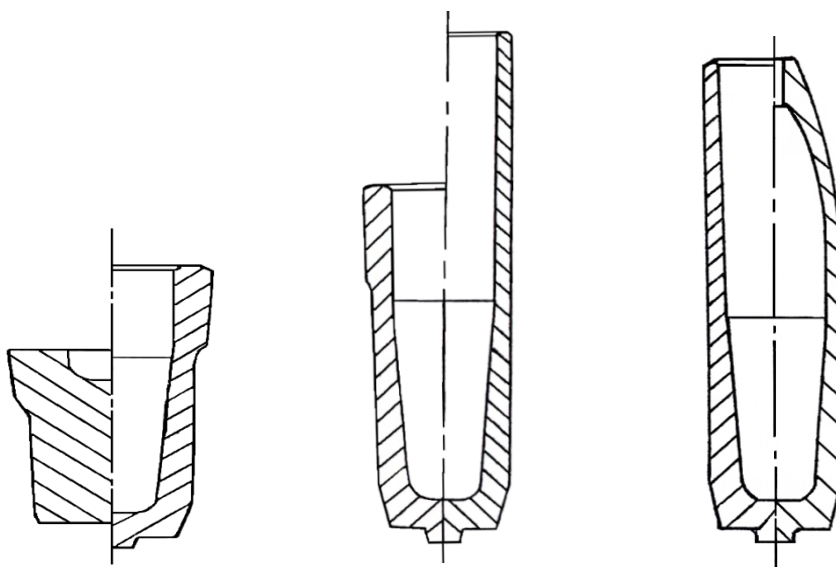
S ohledem na tvar těchto výkovků není v technologickém postupu kování možné zařadit ani technologii kování s výronkem nebo technologii zpětného protlačování za kovací teploty. Technologický postup výroby těchto výkovků je znázorněn na obr. 18 a sestává z operací:

- Příprava polotovaru – z válcové tyče je polotovar oddělen stříháním, u větších průřezů lámáním. Po ohřátí polotovaru na kovací teplotu prochází odokujovacím zařízením.

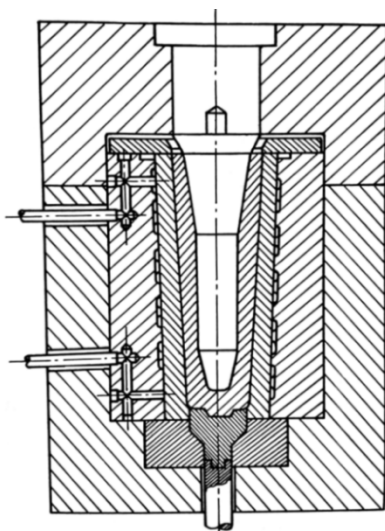


Obr. 18 Schéma základních výrobních operací granátu

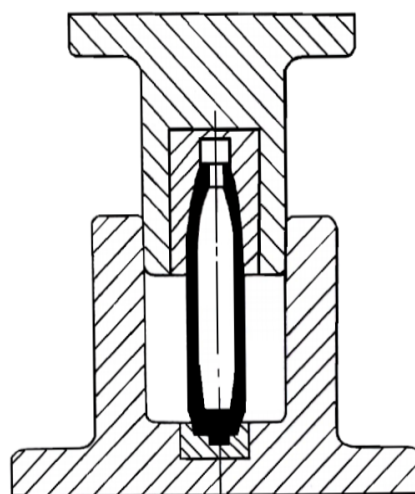
- Předděrování – ohřátý polotovár se upravuje především kvůli úspěšnému provedení následující náročné operace. Vnější tvar je mírně kuželový pro snadné a bezpečné založení do následující děrovací zápustky. Vnější průměr předděrovaného předkovku musí zajistit, že po založení do děrovací zápustky zůstane předděrovaný tvar v horní části její dutiny. V horní části granátu je předlisované lůžko, které slouží jako středící plocha pro děrovací trn.
- Děrování (obr. 19) – předděrovaný polotovár, který je založen v horní části dutiny děrovací zápustky, je děrovacím trnem "vtlačován" do dutiny. Narozdíl od zpětného protlačování výkovku, kdy by byl polotovár založen na dno dutiny děrovací zápustky, je možné procesem vtlačování dosáhnout značné hloubky dutiny ve výkovku. Schéma děrovacího nástroje je na obr 22.
- Protahování (obr. 20) – vzhledem k tomu, že děrovací operací není zpravidla možné docílit konečný požadovaný tvar výkovku, zařazuje se do technologického postupu tato



Obr. 19 Děrování [2] Obr. 20 Protahování [2] Obr. 21 Uzavírání ústí [2]



Obr. 22 Schéma děrovacího nástroje [2]



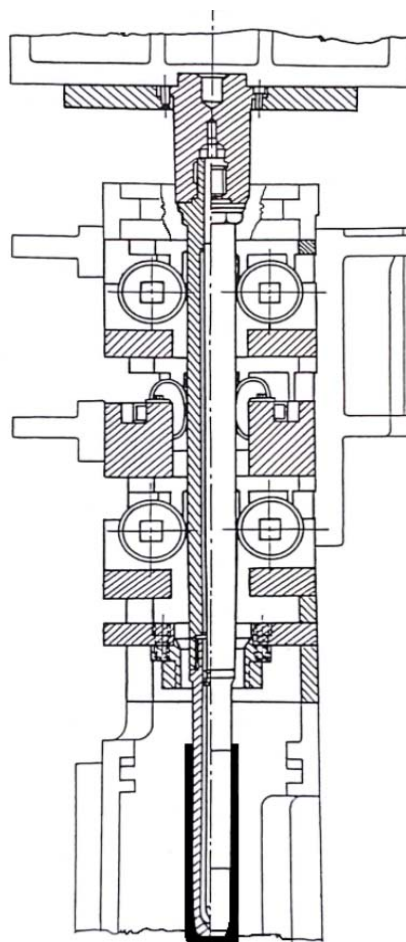
Obr. 23 Schéma nástroje pro uzavírání ústí [2]

operace. V ní dochází ke ztenčení stěny válcové části výkovku při jeho celkovém prodloužení. Při protahování je výkovek nasazen na trn a protažen zpravidla čtyřmi kroužky, s postupně se zmenšujícím vnitřním průměrem, případně sadami kladek, kdy opět dochází k postupné redukci průřezu výkovku (obr. 24).

- Uzavírání ogivalu (obr. 21) – uzavírání ústí se při klasickém výrobním postupu uskutečňuje zatlačením ústní do matrice ve tvaru zvonu. V závislosti na velikosti a tvaru střely se uzavírání uskutečňuje v jedné, případně více tvářecích operacích. Operace probíhá tak, že přední oblast výkovku je ohřátá a následně uzavřena v nástroji do požadovaného tvaru ogivalu. Nástroj na uzavírání ústí je na obr. 24.

Po uzavření ústí následují dokončující třískové operace, případné tepelné zpracování a předepsané kontroly.

Technologický postup kování dutých těles znázorněný a popsáný v předchozím textu vyžaduje speciální tvářecí nástroje i stroje. Stroje jsou určeny pro velké rozměry výkovků a pro operace, kde probíhá protahování velkých délek. Pro kování a následné protahování výkovku těla střely se vesměs používají hydraulické lisy. Pro kování jsou to vertikální lisy řady CTH, pro protahování CKT, které jsou dostupné pro menší rozměry výkovků ve vertikálním a pro větší v horizontálním provedení. v ČR nabízí takovéto lisy Žďas a.s. Všechny tvářecí operace, včetně protahování, lze realizovat pouze na jednom vícepozicovém automatizovaném lise s označením TYH, který je vybaven mezioperačním přenášením výkovku a automatickým systémem na mazání činných částí nástrojů. Tento lis nahrazuje tři samostatné jednotkové lisy a jeho mechanizační zařízení zajišťuje manipulaci s výkovky mezi jednotlivými pracovními pozicemi. Příklad hydraulického lisu, který je opatřen dvěma berany je na obr 25.



Obr. 24 Schéma protahovacího nástroje [2]



Obr. 25 Hydraulický lis se dvěma berany [2]

Pro kontrolu, zda je jmenovitá síla lisu dostačující pro zadanou součást, se používá vzorec pro výpočet síly při děrování výkovku dle Schneidera:

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot k \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.6)$$

kde: d – průměr děrovacího razníku [mm]

k – součinitel závislý na poměru $\frac{d}{a}$, kde 'a' tloušťka stěny (volí se 3 až 5)

R_m – mez pevnosti pro ocel 11 503 při teplotě děrování [MPa]

3 TECHNOLOGICKÝ PROCES KOVÁNÍ GRANÁTU

Výkres granátu (viz příloha č. 1) představuje duté těleso s proměnnou tloušťkou stěny a silnějším dnem (obr. 26). Hmotnost granátu byla vypočítána programem Autodesk Inventor Professional 2018 a činí 4,987 Kg. Ostatní obecné vlastnosti jsou na obr. 27.



Obr. 26 Granát

Materiál	
Ocel, nelegovaná	
Hustota	Požadovaná přesnost
7,850 g/cm ³	Nízká
Těžiště	
Hmotnost	4,987 kg (Relativní)
Povrch	119544,733 mm ²
Objem	635241,519 mm ³
X	128,432 mm (Relativní)
Y	-0,000 mm (Relativní)
Z	-0,000 mm (Relativní)

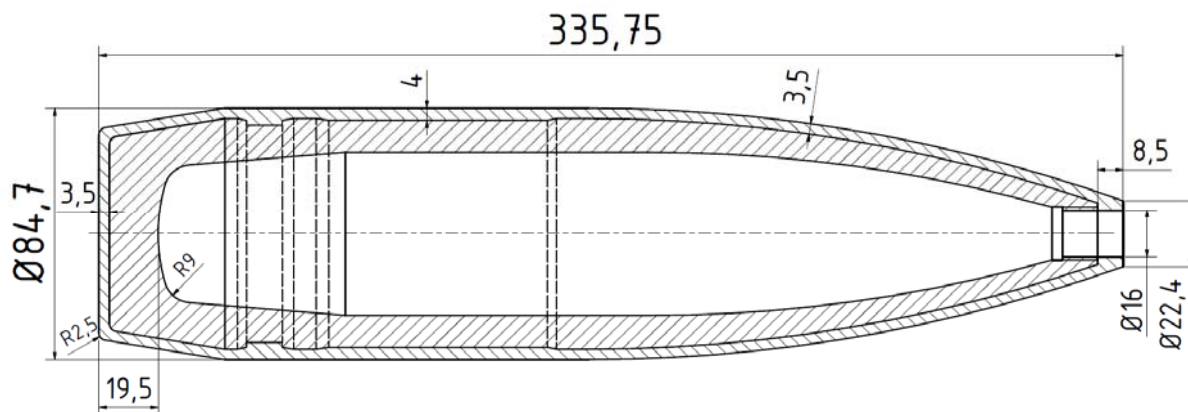
Obr. 27 Obecné vlastnosti

S ohledem na specifickou tvaru nebude kováno standardním způsobem s výronkem, ale tak, že zápusťka bude otevřena u ústí výkovku.

Cílem výpočtů je stanovení tvaru a rozměrů výkovku po jednotlivých tvářecích operacích, až po získání objemu výchozího vstupního materiálu a stanovení jeho rozměrů, tj. výšky a průměru polotovaru. Výchozím pracovním bodem je tedy výkres hotového granátu, jehož rozměry jsou zvětšeny o potřebné přídavky. Početní a grafickou cestou je tento tvar dále rozvíjen v opačném sledu, než bude vlastní kovací operace, viz obr. 18.

3.1 Určení výkovku

Podle výkresu se ke tvaru střely určí přídavky na obrábění. Jsou zvoleny přídavky pro plochy obvyklého provedení podle normy ČSN 42 9030. Na celý vnější povrch je zvolen



Obr.28 Rozměry výkovku

přídavek 3,5 mm. Na závit v hrdle na předním ogivalu je zvolen dodatečný přídavek 5 mm, který se odvíjí podle ráže střely a bývá volen 4 – 6 mm. Z hlediska technologických přídavků se radiusy ve dně zachovávají. Podle normy musí být také tenká stěna přední části zesílena, nicméně speciální tvářecí stroj, který bude použit, umožňuje zeslabení stěny protažením výkovku sadou kroužků. Výkres výkovku je na obr. 28.

3.2 Rozvinutí tvaru granátu

Výkovek získaný v operaci protahování má vnější plochu válcovou a vnitřní je tvořena sestavou válce a kužele tak, aby průřezy odpovídaly ogivalovému tvaru, a to včetně potřebných přídavků. Takto upravený ogivalový tvar je nutno rozvinout, aby vnější plocha byla tvořena válcem.

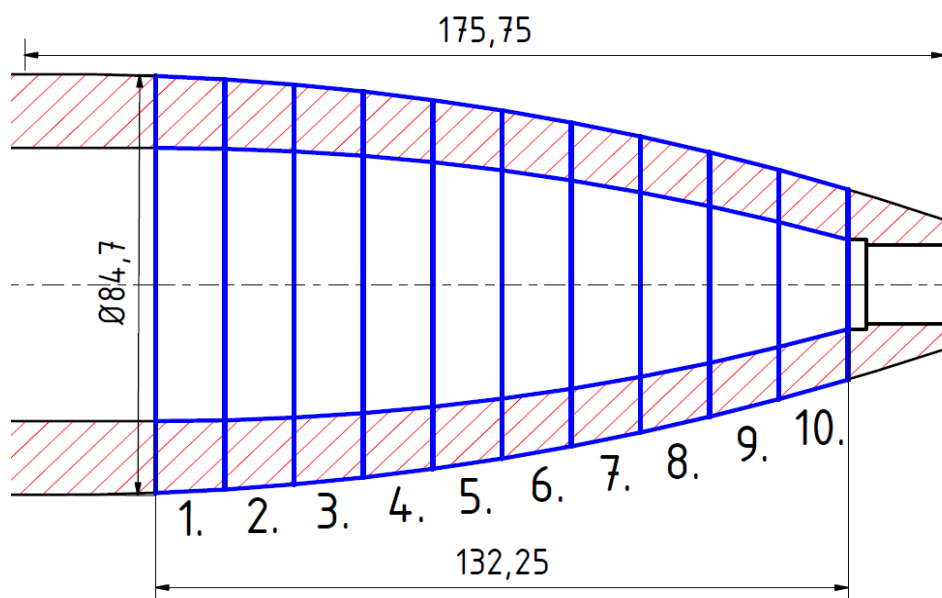
Výpočet délky vnější válcové rozvinuté části ogivalu byl spočítán pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018 a činí 179,197 mm. Tvar vnitřní dutiny se získá tak, že se část ogivalu rozdělí na elementární plochy kolmé k ose x. Rozděleny jsou do 10 částí o stejné výšce 'h' = 13,225 mm. Elementy jsou zobrazeny na obr. 29 a ohraničeny modrou křivkou. Plochy jsou zjednodušeny a jejich obsah je počítán jako obsah obdelníků. Jsou označeny $S_1...S_n$. Výpočtem je nutné stanovit velikost těchto ploch a graficky určit jejich těžiště. Odměřená vzdálenost těžiště každé elementární plochy od osy je označena $R_1...R_n$. Podle Guildova pravidla je vypočítán objem těles vzniklých rozřezáním ogivalové části střely zmíněnými rovinami. Výpočet je podle vzorce:

$$O_i = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot S_i \text{ [mm}^3\text{]}$$

kde: O_i – objem těles rozdělených rovinami [mm³]

R_i – vzdálenost těžiště ploch od osy x [mm]

S_i – plocha rozdělená elementárními rovinami [mm²]



Obr. 29 Rozdělení vnitřní části ogivalu na elementární plochy

Vlastní přepočítání ogivalu do rozvinutého tvaru je možno provádět dvojím způsobem:

- zvolit tvar vnitřní dutiny a přepočítat vnější povrch
- zvolit tvar povrchu a přepočítat tvar dutiny

Protože je třeba, aby byl vnější tvar střely po celé délce cylindrický o jednotném průměru $D_o = 84,7$ mm, je zvolen druhý způsob výpočtu. Výpočet je prováděn za předpokladu, že objem elementárních těles se zavíráním nemění. Celkový objem střely je tedy před a po zavírání stejný.

Odečtením objemů $O_1...O_i$ od objemů válce o průměru D_o vypočítáme elementární válce o průměru $d_1...d_n$. Spojením těchto průměrů nanesených ve středu zmíněných válců se získá tvar dutiny střely. Tento tvar je zkonstruován do plynulé křivky. Výpočty jsou zpracovány do tab. 5. Vzorový výpočet pro 1. část ogivalu:

- 1) Výpočet objemu jednoho elementu vnější části ogivalu:

$$O_o = \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot h = \frac{\pi}{4} \cdot 84,7^2 \cdot 13,225 = 74\,516,49 \text{ mm}^3$$

- 2) Výpočet obsahu elementární plochy S_1 :

$$S_1 = a_1 \cdot b_1 = 13,225 \cdot 14,2 = 187,8 \text{ mm}^2$$

- 3) Grafické určení vzdálenosti těžiště R_1 pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018.

- 4) Výpočet objemu elementární roviny podle Guldinovy věty:

$$O_1 = 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot S_1 = 2 \cdot \pi \cdot 34,78 \cdot 187,8 = 41\,039,78 \text{ mm}^3$$

- 5) Odečtení objemu vnitřní části prvního elementu od vnější:

$$O_o - O_1 = 74\,516,49 - 41\,039,78 = 33\,476,71 \text{ mm}^3$$

- 6) Vyjádření d_1 z rovnice a jeho následný výpočet:

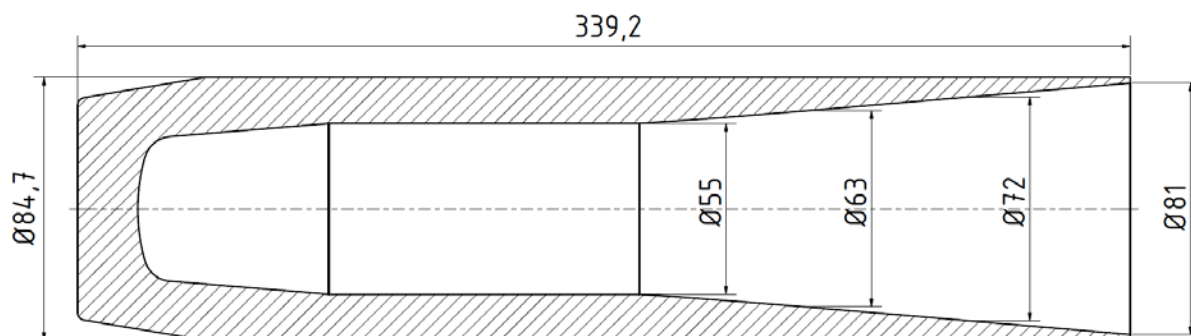
$$O_o - O_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot h$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot (O_o - O_1)}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33\,476,71}{\pi \cdot 13,225}} = 56,77 \text{ mm}$$

Tab. 5 Výpočet průměrů $d_1...d_{10}$ vnitřního tvaru rozvinutého ogivalu

Číslo elementu	Plocha S_n [mm ²]	Vzdálenost těžiště R_n [mm]	Objem elementu O_i [mm ³]	Rozdíl objemů $O_o - O_i$ [mm ³]	Vnitřní průměr d_n [mm]
1	187,8	34,78	41 039,78	33 476,71	56,77
2	180,92	34,02	38 672,37	35 844,12	58,74
3	174,3	32,94	36 074,54	38 441,95	60,84
4	167,96	31,53	33 274,36	41 242,13	63,01
5	162,01	29,8	30 334,58	44 181,91	65,22
6	156,32	27,73	27 236,06	47 280,43	67,47
7	151,03	25,32	24 027,40	50 489,09	69,72
8	145,8	22,58	20 685,28	53 831,41	71,99
9	140,97	19,49	17 263,08	57 253,41	74,24
10	136,35	16,05	13 750,23	60 766,26	76,49

Hodnoty vnitřních průměrů byly do výkresu zaokrouhleny tak, aby se objem tvaru nezměnil. Rozvinutý tvar přední části střely je na obr. 30.



Obr. 30 Rozvinutý tvar granátu

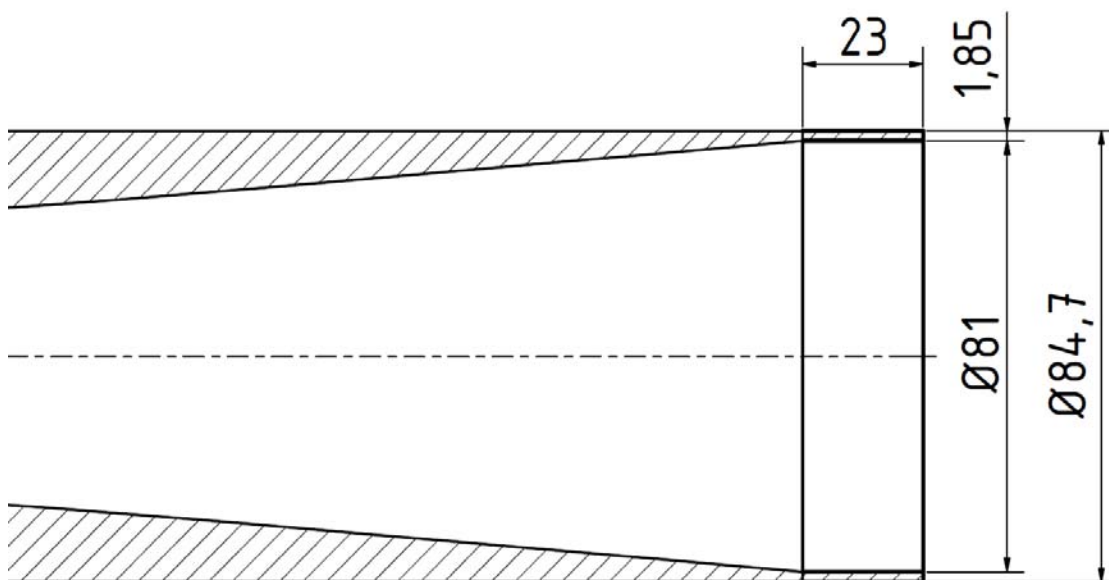
3.3 Zhotovení tvaru výkovku po protažení a výpočet jeho objemu

Ve standardních postupech zápusťkového kování eliminuje případné nepřesnosti hmotnosti vstupního polotovaru přídavek na výronek. v našem případě je také třeba počítat s tolerancí polotovaru, a proto se prodlužuje ústí rozvinutého ogivalu. Rozměry protaženého výkovku tedy dostaneme po zakreslení přídavků nutných pro hrubování. Tento přídavek je:

- Přídavek na délku: $(15 - 20) + 8 \text{ mm}$
kde: 8 mm – šířka upichovacího nože

Je zvolen přídavek 23 mm.

Přídavek je vyznačen na obr. 31.



Obr. 31 Schéma výkovku po protažení s přídavky na ústí

Objem celého výkovku i jeho dílčích objemů je počítán podle tvaru na obr. 28. Tvar vychází z ohrubovaného granátu zvětšeného o přídavky. Celkový objem výkovku O_c je počítán podle schématu na obr. 32.

$$O_c = O_1 + O_2 - O_3 - O_4 - O_5 - O_6$$

Válcové části jsou počítány ze vztahů:

$$O_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot L_1 = \frac{\pi \cdot 84,7^2}{4} \cdot 342,75$$

$$O_1 = 1\,931\,230,7 \text{ mm}^3$$

$$O_3 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot L_3 = \frac{\pi \cdot 81^2}{4} \cdot 23$$

$$O_3 = 118\,518,9 \text{ mm}^3$$

$$O_5 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot L_5 = \frac{\pi \cdot 55^2}{4} \cdot 100$$

$$O_5 = 237\,582,9 \text{ mm}^3$$

Části počítané jako komolý kužel:

$$O_2 = \frac{\pi}{12} \cdot L_2 \cdot \frac{D_6^3 - D_5^3}{D_6 - D_5} =$$

$$= \frac{\pi}{12} \cdot 19,45 \cdot \frac{77,4^3 - 69,9^3}{77,4 - 69,9}$$

$$O_2 = 82\,933,5 \text{ mm}^3$$

$$O_4 = \frac{\pi}{12} \cdot L_4 \cdot \frac{D_2^3 - D_3^3}{D_2 - D_3} =$$

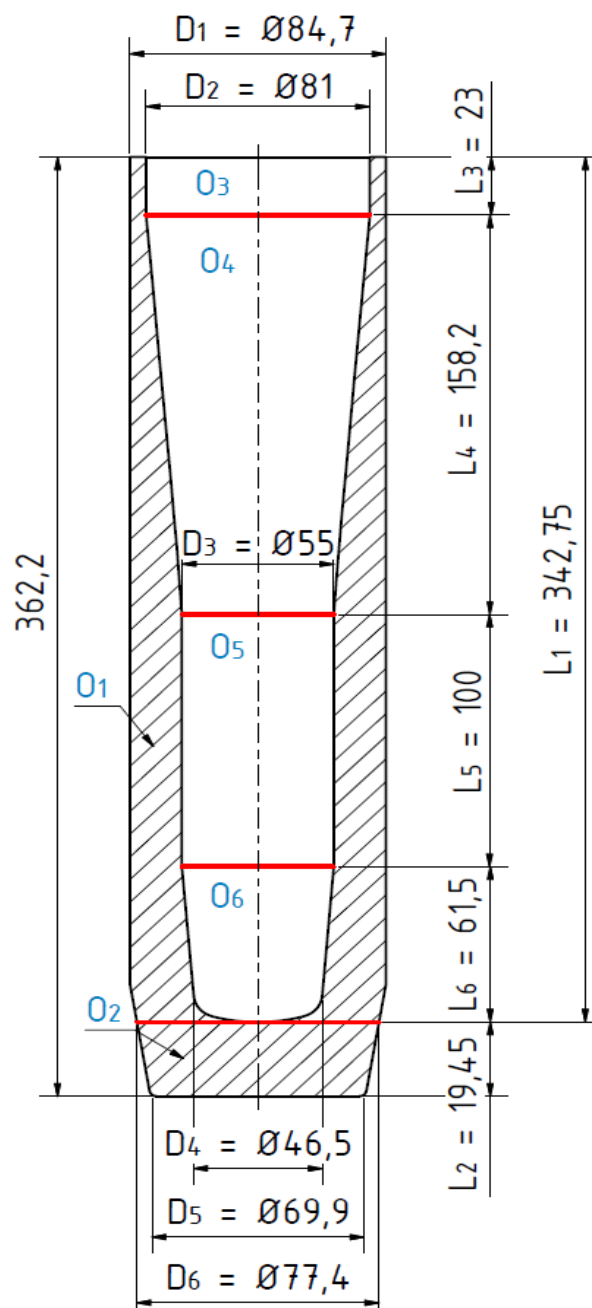
$$= \frac{\pi}{12} \cdot 158,2 \cdot \frac{81^3 - 55^3}{81 - 55}$$

$$O_4 = 581\,531,4 \text{ mm}^3$$

$$O_6 = \frac{\pi}{12} \cdot L_6 \cdot \frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3 - D_4} =$$

$$= \frac{\pi}{12} \cdot 61,5 \cdot \frac{55^3 - 46,5^3}{55 - 46,5}$$

$$O_6 = 124\,695,6 \text{ mm}^3$$



Obr. 32 Určení objemů výkovku

Celkový objem výkovku:

$$O_c = O_1 + O_2 - O_3 - O_4 - O_5 - O_6 = 1\,931\,230,7 + 82\,933,5 - 118\,518,9 - 581\,531,4 - 237\,582,9 - 124\,695,6$$

$$O_c = 951\,835,4 \text{ mm}^3$$

3.4 Rozměry děrovaného výkovku

U rozměrů děrovaného výkovku se vychází z podmínky, že objemy protaženého a děrovaného výkovku jsou stejné. Stejně jsou tedy i průměry D_4 , D_5 a tloušťka dna $L_2 = t'$. Všechny rozměry děrovaného výkovku jsou označeny indexem " ' ", tedy:

$$D_4 = D'_4; D_5 = D'_5; L_2 = t'; (\alpha = \alpha', \beta = \beta')$$

Volba průměrů:

- $D'_2 = D_2 + (0,5 - 2) \text{ mm}$
Je zvolen přírůstek 1 mm, takže $D'_2 = 82 \text{ mm}$
- $D'_3 = D_3 + (0,5 - 3) \text{ mm}$
Je zvolen přírůstek 2 mm, takže $D'_3 = 57 \text{ mm}$
- $D'_4 = D_4$

Tyto přírůstky jsou zvoleny tak, aby protahovací trn bez obtíží vnikl do dutiny děrovaného výkovku.

Volba délek:

- Délka L'_6 bude zvolena tak, aby úhel α u děrovaného a protaženého výlisku zůstal stejný:

$$\frac{D_3 - D_4}{2} \div L_6 = \frac{D'_3 - D'_4}{2} \div L'_6$$
$$L'_6 = \frac{L_6 \cdot \frac{D'_3 - D'_4}{2}}{\frac{D_3 - D_4}{2}} = \frac{L_6 \cdot (D'_3 - D'_4)}{D_3 - D_4} = L'_6 = \frac{61,5 \cdot (57 - 46,5)}{55 - 46,5} = 75,97 \text{ mm}$$

Délka L'_6 je zaokrouhlena na hodnotu 75 mm

3.4.1 Celková délka děrovaného výkovku

Délka děrovaného výkovku L' je rovna 70 % délky protaženého výkovku L , tedy:

$$L' = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 362,2 = 253,4 \text{ mm}$$

Délka L' je zaokrouhlena na hodnotu 254 mm.

Celková délka děrovaného výkovku se skládá z úseků:

$$L' = t' + L'_6 + L'_5 + L'_7$$

Válcová část přírůstku na ústí, která má délku L_3 a kuželová část s délkou L_4 bude uvažována jako jeden kužel s délkou L'_7 . Vzdálenost $L'_5 = 83 \text{ mm}$ byla odměřena graficky pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018. Úhel β se obvykle volí větší než u protahovaného výkovku. Volba úhlu a následný výpočet délky L'_7 :

$$\beta = 9^\circ$$

$$\tan \beta = 0,15839$$

$$L'_7 = L' - t' - L'_6 - L'_5$$

$$L'_7 = 254 - 19,45 - 76 - 82 = 76,55$$

Délka L'_7 je zaokrouhlena na hodnotu 77 mm.

3.4.2 Výpočet vnějšího průměru děrovaného výkovku

Určení vnějšího poloměru D'_v je možné vyjádřit z několika rovnic pro objem děrované součásti:

$$O_c = O' - O'_3 - O'_4 - O'_5$$

kde: (viz obr. 31)

$$O' = \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot \frac{D'^3_v - D'^3_5}{D'_v - D'_5}$$

$$O'_3 = \frac{\pi}{12} \cdot L'_6 \cdot \frac{D'^3_3 - D'^3_4}{D'_3 - D'_4}$$

$$O'_4 = \frac{\pi \cdot D'^2_3}{4} \cdot L'_5$$

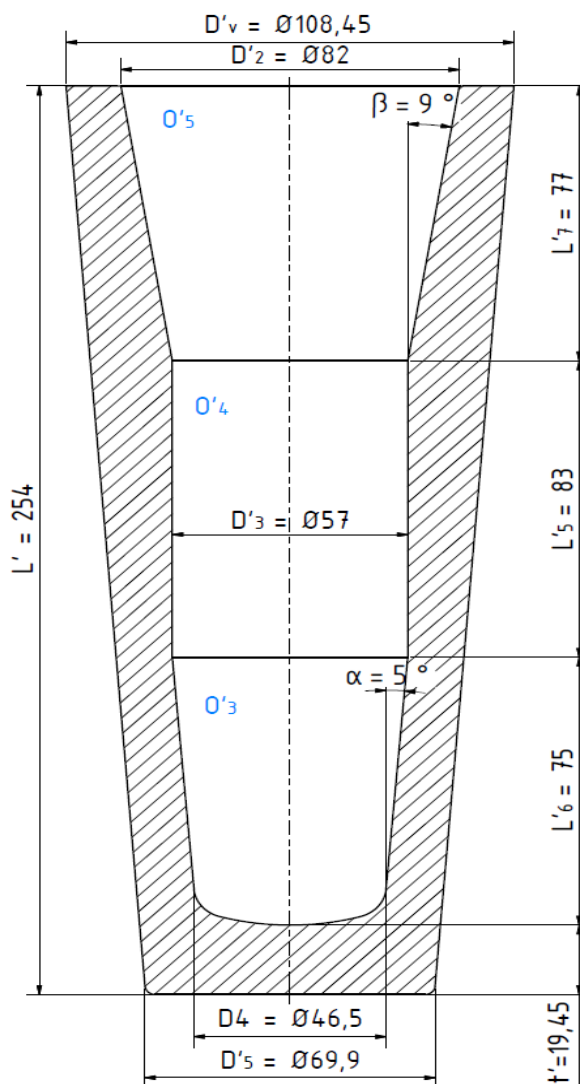
$$O'_5 = \frac{\pi}{12} \cdot L'_7 \cdot \frac{D'^3_2 - D'^3_3}{D'_2 - D'_3}$$

Ze všech těchto hodnot je neznámá D'_v , tj. vnější průměr děrovaného výkovku. Výkovek i s rozměry je zobrazen na obr. 26. Průměr D'_v se spočítá následujícím způsobem:

$$\begin{aligned} O' &= O_c + O'_3 + O'_4 + O'_5 = \\ &= \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot \frac{D'^3_v - D'^3_5}{D'_v - D'_5} \\ O' \cdot (D'_v - D'_5) - \\ &- \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot (D'^3_v - D'^3_5) = 0 \end{aligned}$$

Jedná se o rovnici třetího stupně, z ní je možné průměr D'_v vypočítat interpolací, nicméně jednodušší a přesnější způsob je ten, že je model děrovaného výkovku vymodelován pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018. Jak už bylo řečeno, objemy protaženého a děrovaného výkovku

O_c jsou stejné. z toho vyplývá, že je v programu pouze dosazena hodnota D'_v tak, aby se objemy shodovaly. Poloměr D'_v je tedy určen 108,45 mm. Děrovaný výkovek je na obr. 33.



Obr. 33 Děrovaný výkovek

3.5 Předděrování a výpočet výchozího polotovaru

Předděrování polotovaru se provádí z důvodu úspěšného provedení operace děrování. Vnější tvar je kuželovitý, ale oproti tvaru děrovaného výkovku musí být jeho rozměry pozměněny. Konkrétně se jedná o zvětšení dolního průměru D'_5 o 19,1 mm. Vnější průměr musí zajistit, aby předkovek zůstal po založení do děrovací zápustky v horní části její dutiny. Dále je dopočítána výška výkovku tak, aby stále platila rovnost objemů. Předlisované lůžko, které slouží jako středící plocha pro děrovací trn, je protlačeno do hloubky 23 mm a má průměr 48 mm. Předděrování je zobrazeno na obr. 34.

Objem výchozího polotovaru bude větší než objem protaženého výkovku o přídavek na opal. Ohřev bude probíhat v plynové peci. Při jednom ohřevu na kovací teplotu se ztrácí přibližně 2 % materiálu. Ohřevy budou probíhat 3 a to konkrétně u operací předděrování, děrování a protahování. Objem polotovaru O_p je roven:

$$O_p = O_c + 0,06 \cdot O_c$$

$$O_p = 1,06 \cdot O_c$$

$$O_p = 1,06 \cdot 951\,835,4$$

$$O_p = 1\,008\,945,5 \text{ mm}^3$$

Průměr polotovaru D_p se volí o 4 až 8 mm větší než průměr protaženého výkovku.

Je zvoleno zvětšení 6 mm.

$$D_p = D_1 + 6$$

$$D_p = 84,7 + 6 = 90,7 \text{ mm}$$

Průměr D_p je zvolen 91 mm.

Délka polotovaru L_p se dále spočítá:

$$O_p = \frac{D_p^2 \cdot \pi}{4} \cdot L_p$$

$$L_p = \frac{4 \cdot O_p}{D_p^2 \cdot \pi}$$

$$L_p = \frac{4 \cdot 1\,008\,945,5}{91^2 \cdot \pi}$$

$$L_p = 155,13 \text{ mm}$$

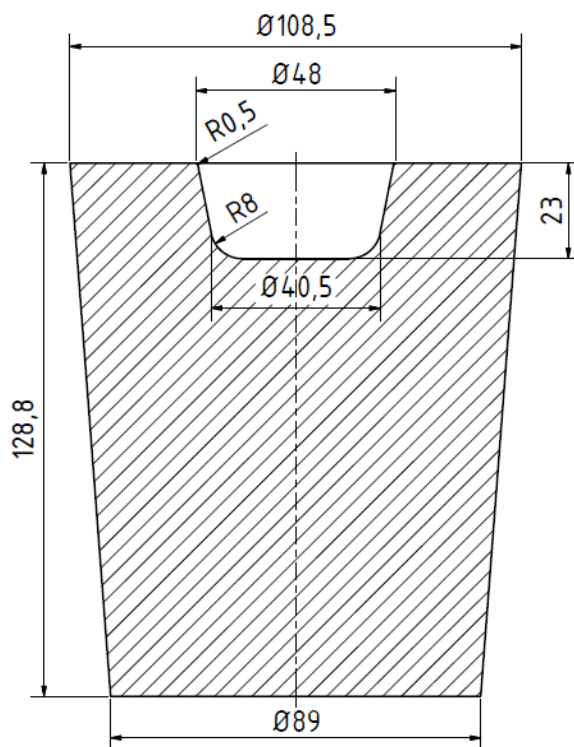
Délka L_p je zvolena 155 mm.

Poměr L_p/D_p by neměl být větší než 2,5, jinak může nastat stav, při kterém se polotovar ohne v zápustce:

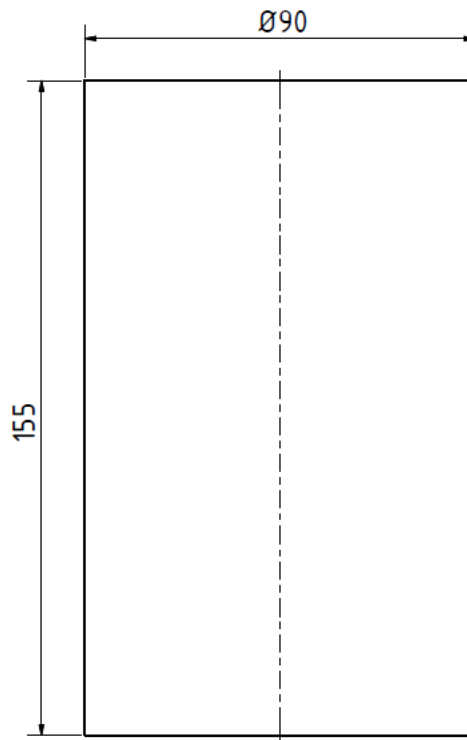
$$\frac{L_p}{D_p} = \frac{155}{91} = 1,703$$

$$1,703 < 2,5$$

Délka L_p a průměr D_p jsou vyhovující. Výchozí polotovar je na obr. 35. Průměr D_p byl zvolen na konečnou hodnotu 90 mm z důvodu lepší dostupnosti na trhu. Teplota ohřevu je stanovena na 1000°C s předpokladem dokovací teploty 850°C.



Obr. 34 Předděrování



Obr. 35 Polotovar

3.6 Volba stroje a nástrojů [26], [3]

Pro kování zadané součásti je nutné použít lis přizpůsobený pro výrobu střel, aby bylo možné vytvořit specifický ogivalový tvar. Stroj je vybrán podle katalogu ŽĐAS – Zařízení pro speciální účely. Konkrétně se jedná o linku na výrobu střel do průměru 160 mm, tedy o kombinaci dvou lisů:

- CTH 630 – určený pro pěchování a děrování předlisků
- CKT 250 – slouží pro protahování střel přes kroužky a kladky

Tyto lisy jsou vyráběny v několika variantách a jsou pro výrobu střely dostačující. Lis CTH je na obr. 36 a jeho parametry jsou zobrazeny v tab. 6.

Tab. 6 Parametry lisu CTH 630 [26]

	Jmenovitá síla	6300 kN
	Zdvih beranu	1600 mm
	Síla vyhazovače	1600 kN
	Zdvih vyhazovače	800 mm
	Sevření	1250 mm
	Rozměry stolu	1600 x 2500 mm

Obr. 36 Hydraulický lis řady CTH [26]

Nástroje použité k výrobě střely jsou:

- Děrovací trn – trn svým tvarem nekopíruje přesně tvar dutiny výkovku. Liší se tím, že je ve střední partii odlehčen. Díky tomu se zmenší tření a opotřebení trnu a usnadní se jeho vytažení z výkovku.
- Protahovací trn – trn svým tvarem přesně odpovídá tvaru dutiny protaženého výkovku, zvětšené o hodnotu smrštění. Rozměry protahovacího trnu jsou o něco menší než ty u trnu děrovacího.
- Protahovací kladky – jejich počet závisí na velikosti celkového přetvoření a je po konstrukční stránce omezen zdvihem lisu a jeho tvářecí silou. Při malém zdvihu se používají dvě sady kladek a při velkém tří. U zadané součásti a zvoleného lisu je zvoleno použití tří sad kladek.

U rozměrů nástrojů je nutné přihlížet ke zmenšení rozměrů výlisku z důvodu ochlazení z kovací teploty.

Ke kontrole tvářecí síly je použit vzorec (2.6)

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot k \cdot Rm$$

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot 82^2 \cdot 3 \cdot 100 = 1\,584\,305,2 \text{ N} = 1\,584 \text{ kN}$$

Parametry lisu vzhledem k potřebné tvářecí síle pro děrování jsou dostačující.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem technicko-ekonomického zhodnocení je stanovit přibližné náklady pro výrobu 200 000 kusů výkovků. Vychází se z výpočtů nákladů na výrobu jednoho kusu a celé série. Tyto výpočty zahrnují cenu materiálu, cenu hodiny práce a režijní náklady. Dále jsou také uvažovány náklady na výrobu nástrojů. Hmotnost součásti a polotovaru byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018.

Tab. 7 Vstupní hodnoty pro výpočet výrobních nákladů

Počet vyráběných kusů	$n_{ser} = 200\ 000\ ks$
Hmotnost hotového výkovku	$m_c = 4,987\ Kg$
Cena 1 kg oceli 11 503	$C_{mat} = 32,-\ Kč$
Výkupní cena ocelového odpadu	$C_{odp} = 3,-\ Kč/kg$
Hodinová mzda dělníka	$C_{del} = 100\ Kč$
Podniková režie	200%
Dílenská režie	650%
Hmotnost polotovaru	$m_p = 7,914\ Kg$
Rozměry polotovaru	$\varnothing 90 \times 155\ mm$

4.1 Náklady na výrobu nástrojů

Jedná se o odhad ceny nástrojů, které jsou potřebné pro výrobu všech kusů. Pro materiál nástrojů je vybrána ocel 19 552, která je vhodná pro velmi namáhané nástroje chlazené vodou. Podle stránky Ferona online je její cena 101,5 Kč/kg a její hustota je $\rho = 7850\ [kg/m^3]$.

Počet nástrojů nutných pro výrobu celé série:

$$N_{nás} = \frac{n_{ser}}{Z_{nás}} [ks]$$

kde: n_{ser} – počet vyráběných kusů součásti [ks]

$Z_{nás}$ – životnost nástroje [ks]

Cena nástrojů:

$$C_{nás} = m_k \cdot C_{mat19} + C_{výroby} \cdot N_{nás} [Kč]$$

kde: m_k – hmotnost nástroje [kg]

C_{mat19} – výkupní cena materiálů 19 552 [Kč]

$C_{výroby}$ – cena výroby jednoho nástroje [Kč]

- Předděrování:

- Trn – polotovar $\varnothing 120 \times 120$ a životnost 20 000 ks

$$N_{PDt} = \frac{200\ 000}{20\ 000} = 10\ ks$$

$$C_{PDt} = 10,65 \cdot 101,5 + 40\ 000 \cdot 10$$

Celková cena trnů pro předděrování je 401 081 Kč.

- Zápustka – její rozměry jsou $\varnothing 200 \times 200$ a životnost 15 000 ks

$$N_{PDZ} = \frac{200\,000}{15\,000} = 13,33 \cong 14 \text{ ks}$$

$$C_{PDZ} = 49,32 \cdot 101,5 + 60\,000 \cdot 14$$

Celková cena zápustek pro předděrování je 845 006 Kč

- Vyhazovač – jeho rozměry jsou $\varnothing 120 \times 80$ a životnost 200 000 ks

$$N_{PDv} = \frac{200\,000}{200\,000} = 1 \text{ ks}$$

$$C_{PDv} = 7,1 \cdot 101,5 + 30\,000 \cdot 1$$

Celková cena vyhazovače pro předděrování je 30 720,6 Kč.

- Děrování:

- Trn – jeho rozměry jsou $\varnothing 125 \times 450$ a životnost 1 500 ks

$$N_{Dt} = \frac{200\,000}{1500} = 133,33 \cong 134 \text{ ks}$$

$$C_{Dt} = 43,4 \cdot 101,5 + 50\,000 \cdot 134$$

Celková cena trnů pro děrování je 6 704 405 Kč.

- Zápustka – její rozměry jsou $\varnothing 200 \times 300$ a životnost 15 000 ks

$$N_{Dz} = \frac{200\,000}{15\,000} = 13,33 \cong 14 \text{ ks}$$

$$C_{Dz} = 74 \cdot 101,5 + 60\,000 \cdot 14$$

Celková cena zápustek pro děrování je 847 511 Kč.

- Vyhazovač – jeho rozměry jsou $\varnothing 75 \times 100$ a životnost 200 000 ks

$$N_{Dv} = \frac{200\,000}{200\,000} = 1 \text{ ks}$$

$$C_{Dv} = 3,5 \cdot 101,5 + 30\,000 \cdot 1 =$$

Celková cena vyhazovače pro děrování je 30 355,3 Kč.

- Protahování:

- Kladky – životnost jedné sady kladek je 20 000 ks a každá sada obsahuje 4 kladky. Cena 1 kladky se vypočítá:

$$C_{klad} = m_{klad} \cdot C_{mat} + C_{výroby}$$

kde: m_{klad} – hmotnost 1 kladky – zvolena hodnota 25 kg

$$C_k = 25 \cdot 101,5 + 20\,000 = 22\,537,5 \text{ Kč}$$

$$N_{Pk} = \frac{200\,000}{20\,000} = 10 \text{ ks}$$

K této operaci jsou třeba 3 sady kladek. Celkový počet kladek je tedy 12.

Cena všech kladek pro protahování je 270 450 Kč.

- Tažný trn – jeho rozměry jsou $\varnothing 70 \times 500$ a životnost 1 500 ks

$$N_{Pt} = \frac{200\,000}{1500} = 133,33 \cong 134 \text{ ks}$$

$$C_{Pt} = 15,1 \cdot 101,5 + 50\,000 \cdot 134$$

Celková cena všech trnů pro protahování je 6 701 532,6 Kč.

- Uzavírání:

- Zápustka – její rozměry jsou $\varnothing 250 \times 250$ a životnost 15 000 ks

$$N_{Uz} = \frac{200\,000}{15\,000} = 13,33 \cong 14 \text{ ks}$$

$$C_{Uz} = 96,3 \cdot 101,5 + 60\,000 \cdot 14$$

Celková cena zápustek pro uzavírání je 849 774,5 Kč.

- Podložka – její rozměry jsou $\varnothing 150 \times 100$ a životnost 200 000 ks

$$N_{Up} = \frac{200\,000}{200\,000} = 1 \text{ ks}$$

$$C_{Up} = 19,87 \cdot 101,5 + 30\,000 \cdot 1$$

Celková cena pro podložku pro uzavírání je 32 016,8 Kč.

4.2 Náklady na výrobu kováním

Nejprve je nutné zjistit čas pro výrobu jedné součásti ' t_k '.

Časy kování:

- 1) Předděrování – 70 ks/hod
- 2) Děrování – 70 ks/hod
- 3) Protahování – 70 ks/hod
- 4) Uzavírání ústí – 70 ks/hod

Dále bude brán v potaz čas potřebný na upínání zápustek a seřízení nástrojů. Celkový čas v jednotlivých operacích se vypočítá:

- 1) Předděrování:

- Čas jednoho kusu:

$$t_s = \frac{60}{n_{ksh}} = \frac{60}{70} = 0,8571 \text{ min/ks}$$

kde: n_{ksh} – počet výroby kusů u operace za hodinu [ks/hod]

Tento čas je pro všechny operace stejný.

- Čas celé série:

$$t_{spred} = (t_s \cdot n_{ser}) + (t_{seř} \cdot n_{pnást})$$

kde: $t_{seř}$ – čas potřebný na upínání a seřízení nástrojů, kdy pro 1 nástroj bylo zvoleno 240 min [min]

$n_{pnást}$ – součet všech nástrojů potřebných pro předděrování (ve vzorci se bude násobit největším počtem nástrojů, aby se stroje zastavovaly současně) [ks]

$$t_{spred} = (0,8571 \cdot 200\,000) + (240 \cdot 149)$$

$$t_{spred} = 207\,180 \text{ min}$$

- 2) Děrování:

- Čas celé série:

$$t_{sder} = (t_s \cdot n_{ser}) + (t_{seř} \cdot n_{dnást})$$

kde: $n_{dnást}$ – součet všech nástrojů potřebných pro děrování [ks]

$$t_{sder} = (0,8571 \cdot 200\,000) + (240 \cdot 149)$$

$$t_{sder} = 207\,108 \text{ min}$$

- 3) Protahování:

- Čas celé série:

$$t_{sprot} = (t_s \cdot n_{ser}) + (t_{seř} \cdot n_{pnást})$$

kde: $n_{pnást}$ – součet všech nástrojů potřebných pro protahování [ks]

$$t_{sprot} = (0,8571 \cdot 200\,000) + (240 \cdot 149)$$

$$t_{sprot} = 207\,108 \text{ min}$$

4) Uzavírání:

➤ Čas celé série:

$$t_{suzav} = (t_s \cdot n_{ser}) + (t_{seř} \cdot n_{unást})$$

kde: $n_{unást}$ – součet všech nástrojů potřebných pro uzavírání [ks]

$$t_{suzav} = (0,8571 \cdot 200\,000) + (240 \cdot 149)$$

$$t_{suzav} = 207\,108 \text{ min}$$

Celkový čas pro výrobu všech kusů výkovků se vypočítá:

$$t_{celk} = t_{spred} + t_{sder} + t_{sprot} + t_{suzav}$$

$$t_{celk} = 207\,108 + 207\,108 + 207\,108 + 207\,108$$

$$t_{celk} = 828\,432 \text{ min} = 13\,308,2 \text{ hod}$$

Čas pro výrobu jedné součásti se vypočítá:

$$t_k = \frac{t_{celk}}{n_{ser}} = \frac{828\,432}{200\,000} = 4,14 \text{ min}$$

Jakmile je znám čas pro výrobu jedné součásti, je možné spočítat náklady na výrobu:

- Náklady na materiál:

➤ Na jeden kus:

$$N_m = C_{mat} \cdot m_p \text{ [Kč]}$$

$$N_m = 32 \cdot 7,914 = 253,25 \text{ Kč}$$

➤ Ne celou sérii

$$N_{cm} = N_m \cdot n_{ser} \text{ [Kč]}$$

$$N_{cm} = 253,25 \cdot 200\,000 = 50\,650\,000 \text{ Kč}$$

- Mzda výrobního dělníka:

➤ Na jeden kus:

$$N_d = \frac{t_k}{60} \cdot C_{del} \text{ [Kč]}$$

$$N_d = \frac{4,14}{60} \cdot 100 = 6,9 \text{ Kč}$$

➤ Ne celou sérii:

Mzda bude počítána pro 3 dělníci na směnu:

$$N_{ds} = 3 \cdot N_d \cdot n_{ser} \text{ [Kč]}$$

$$N_{ds} = 3 \cdot 6,9 \cdot 200\,000 = 4\,140\,000 \text{ Kč}$$

- Hodnota vratného materiálu, kde je započítán pouze odpad ze třísek při obrábění konečného výkovku:

➤ Vratný materiál jednoho kusu:

$$m_{vr} = m_{hv} - m_c \text{ [kg]}$$

$$m_{vr} = 5,24 - 4,987 = 0,253 \text{ kg}$$

kde: m_{hv} – hmotnost výkovku před obráběním [kg]

➤ Na jeden kus:

$$N_o = C_{odp} \cdot m_{vr} \text{ [Kč]}$$

$$N_o = 3 \cdot 0,253 = 0,759 \text{ Kč}$$

➤ Na celou sérii:

$$N_{co} = N_o \cdot n_{ser} \text{ [Kč]}$$

$$N_{co} = 0,759 \cdot 200\,000 = 151\,800 \text{ Kč}$$

- Náklady na režie:

➤ Dílenská režie:

$$N_D = N_{ds} \cdot 6,5 \text{ [Kč]}$$

$$N_D = 1\,274\,000 \cdot 6,5 = 8\,281\,000 \text{ Kč}$$

➤ Podniková režie:

$$N_p = N_{ds} \cdot 2 \text{ [Kč]}$$

$$N_p = 1\,274\,000 \cdot 2 = 2\,548\,000 \text{ Kč}$$

Cena výroby jednoho výrobku:

$$C_{VV} = \frac{N_{nás} + N_{ds} + N_{cm} + N_D + N_p - N_{CO}}{200\,000}$$

$$C_{VV} = \frac{(16\,712\,532,8 + 4\,140\,000 + 50\,650\,000 + 8\,281\,000 + 2\,548\,000 - 151\,800)}{200\,000}$$

$$C_{VV} = 411 \text{ Kč}$$

Celková náklady jsou zobrazeny v tab. 8.

Tab. 8 Celkové náklady na sérii 200 000 ks

Cena nástrojů pro předděrování [Kč]	1 276 807,6
Cena nástrojů pro děrování [Kč]	7 582 251,3
Cena nástrojů pro protahování [Kč]	6 971 982,6
Cena nástrojů pro uzavírání [Kč]	881 791,3
Náklady na materiál [Kč]	50 650 000
Mzdy dělníků [Kč]	4 140 000
Vratný materiál [Kč]	-151 800
Podniková režie [Kč]	2 548 000
Dílenská režie [Kč]	8 281 000
Celkové náklady [Kč]	82 180 032,8

5 ZÁVĚRY

Byl proveden návrh výroby těla dělostřeleckého granátu. Jedná se o součást tvaru tlustostěnné nádoby s proměnnou tloušťkou. Délka granátu je 323,75 mm a jeho průměr dosahuje hodnoty 77,7 mm, přičemž oba jeho konce jsou zakončeny ogivaly. Součást je z nelegované oceli 11 503 a série výroby byla zvolena na 200 000 kusů.

Po zhodnocení možných způsobů výroby byla zvolena jako jediná realizovatelná technologie zápusťkové kování. Z důvodu specifického tvaru součásti bylo nutné použít nestandardní technologie, do které patří kování dutých těles. S ohledem na tvar výsledného tvaru nebylo možné do postupu kování zařadit ani technologii kování s výronkem, ani technologii zpětného protlačování za kovacími teplotami. Granát je zhotoven v několika operacích, které vyžadují speciální tvářecí stroje. Proto byla vybrána výrobní linka, která se skládá ze dvou hydraulických lisů uzpůsobených pro výrobu střel do průměru 160 mm. Tyto stroje umožňují vytvořit požadovaný ogivalový tvar pomocí protažení přes sadu kladek.

V hrubém odhadu technicko-ekonomického zhodnocení byly zaneseny přímé i nepřímé náklady. V přímých se uvažovalo s náklady na materiál a náklady na výrobu nástrojů potřebných technologickému postupu. Náklady na výrobu jedné součásti činí zhruba 411 Kč. V nepřímých nákladech byla brána v úvahu výrobní a správní režie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [29]

1. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008, 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2.
2. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. 1. Brno: VA Brno, 1999, 162 s. S-995.
3. KHALAF, Kasim Abdulhassan. *Technology of forging of the 155 mm artillery shell*. Brno, 1983. Disertační práce. Univerzita obrany.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., v Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. DOUBRAVSKÝ, Miroslav, Igor MACÁŠEK, Zdeněk MACHÁČEK a Jan ŽÁK. *Technologie I*. Praha 1: SNTL - Nakladatelství technické literatury n. p., Spálená 51, 113 02 Praha 1, 1982.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf. Syllab. Vysoké učení technické v Brně.
8. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
9. *Zápusťkové výkovky* [online]. Uničov: Unex, 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>.
10. *Objemové a plošné tváření*, Slideplayer [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11459599/>.
11. EstererGieBerei [online]. Altötting: Esterer Gießerei, 2013 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.esterer-giesserei.de/cz/sluzby/materialy/seda-litina-engl/>.
12. *Třískové obrábění* [online]. Žďár nad Sázavou: Kovovýroba Brázda, 2008 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.kovovyroba-brazda.cz/kovovyroba-triskove-obrabeni-str-10-1-5-2.html>.
13. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text : studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.
14. HORÁČEK, M a L ZEMČÍK. *Slévárenská technologie: Technologie II* [online]. Vysoké učení technické, 25 s. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/slevarenska-technologie/slevtech.pdf>

15. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
16. *Zápustkové kování* [online]. Opava: Ostroj, 2012 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/kovani-zapustkovych-vykovku>.
17. *Ocelové plechy válcované za tepla* [online]. Praha: NYPRO, 2008 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-tepla>.
18. *Přehled vlastností oceli S355J2* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2019 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukce-a-legovane/nelegovane-konstrukce-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>.
19. *Katedra tváření kovů a plastů* [online], Liberec [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
20. *Výroba a ohýbání hydraulických trubek* [online]. Teplice: GMS-HYDRAULIKA, 2017 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://gms-hydraulika.cz/informace/vyroba-a-ohybani-hydraulickych-trubek>.
21. *Kování* [online]. Studénka: MSV Metal Studénka, 2018 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.msvmetal.eu/kovani/>.
22. ELFMARK, Jiří, 1992. *Tváření kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. Technický průvodce. ISBN 8003006511
23. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
24. Strojírenská technologie přednáška 8. In: *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Brno: IS MUNI, 2013 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/jaro2013/OP3BP_DTS/um/STR_8.pdf.
25. Vybrané technologie objemového tváření za tepla. In: *Technologie tváření* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2006 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_2.htm.
26. Hydraulické lisy. In: *Industry EU* [online]. Ostrava: Industry EU, 2002 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/files/companies/890388.pdf>.
27. Pneumaticko-Hydraulické lisy. In: *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, 2017 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/buchary.html>.
28. Svislé kovací lisy. In: *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, 2017 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/svisle_kovaci_lisy.html.
29. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Velikost hrany výkovku	[mm]
A	Práce posledního úderu pro kruhový výkovek	[J]
a_1	Strana elementární plochy	[mm]
A_{\min}	Tažnost	[%]
A_n	Práce posledního úderu pro nekruhový výkovek	[J]
b_1	Strana elementární plochy	[mm]
b_v	Délka můstku výronkové drážky	[mm]
C_{del}	Hodinová mzda dělníka	[Kč]
C_{Dt}	Cena všech trnů pro děrování	[Kč]
C_{Dv}	Cena všech vyhazovačů pro děrování	[Kč]
C_{Dz}	Cena všech zápustek pro děrování	[Kč]
C_{klad}	Cena všech kladek pro protahování	[Kč]
C_{mat}	Cena 1 kg oceli 11 503	[Kč]
$C_{\text{nás}}$	Cena nástrojů	[Kč]
C_{odp}	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč]
C_{PDt}	Cena všech trnů pro předděrování	[Kč]
C_{PDv}	Cena všech vyhazovačů pro předděrování	[Kč]
C_{PDz}	Cena všech zápustek pro předděrování	[Kč]
C_{Pt}	Cena všech trnů pro protahování	[Kč]
C_{Up}	Cena všech podložek pro protahování	[Kč]
C_{Uz}	Cena všech zápustek pro protahování	[Kč]
$C_{\text{výroby}}$	Cena výroby jednoho nástroje	[Kč]
d	Průměr děrovacího razníku	[mm]
d_1	Vnitřní průměr první části střely	[Kč]
D_1	Průměr první části protaženého výkovku	[mm]
D_2	Průměr druhé části protaženého výkovku	[mm]
D_2'	Průměr druhé části děrovaného výkovku	[mm]
D_3	Průměr třetí části protaženého výkovku	[mm]
D_3'	Průměr třetí části děrovaného výkovku	[mm]
D_4	Průměr čtvrté části protaženého výkovku	[mm]
D_4'	Průměr čtvrté části děrovaného výkovku	[mm]
D_5	Průměr páté části protaženého výkovku	[mm]
D_5'	Průměr páté části děrovaného výkovku	[mm]
D_6	Průměr šesté části protaženého výkovku	[mm]
D_D	Průměr výkovku	[cm]
d_n	Vnitřní průměr střely	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
D_o	Vnější průměr střely	[mm]
D_p	Průměr výchozího polotovaru	[mm]
d_v	Průměr výkovku	[mm]
D'_v	Vnější poloměr děrovaného výkovku	[mm]
F	Velikost kovací síly	[N]
h	Výška elementu	[mm]
H_D	Vzdálenost mezi dnem výkovku a dělicí rovinou	[mm]
h_m	Výška můstku	[mm]
h_v	Výška můstku výronkové drážky	[mm]
k	Konstanta závislá na průměru a tloušťce stěny	[-]
K_v	Nárazová práce	[J]
L'	Délka děrovaného výkovku	[mm]
L_1	Délka první části protaženého výkovku	[mm]
L_2	Délka druhé části protaženého výkovku	[mm]
L_3	Délka třetí části protaženého výkovku	[mm]
L_4	Délka čtvrté části protaženého výkovku	[mm]
L_5	Délka páté části protaženého výkovku	[mm]
L'_5	Délka páté části děrovaného výkovku	[mm]
L_6	Délka šesté části protaženého výkovku	[mm]
L'_6	Délka šesté části děrovaného výkovku	[mm]
L'_7	Délka sedmé části děrovaného výkovku	[mm]
L_d	Délka výkovku	[cm]
L_p	Délka výchozího polotovaru	[mm]
m_c	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
m_{hv}	Hmotnost výkovku před obráběním	[kg]
m_k	Hmotnost nástroje	[kg]
m_{klad}	Hmotnost jedné kladky	[kg]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_{vr}	Hmotnost vratného materiálu jednoho kusu	[kg]
N_{cm}	Náklady na materiál celé série	[Kč]
N_{co}	Hodnota vratného materiálu celé série	[Kč]
N_d	Mzda výrobního dělníka na jeden kus	[Kč]
N_D	Náklady na dílenskou režii	[Kč]
$n_{dnást}$	Součet všech nástrojů potřebných pro děrování	[ks]
N_{ds}	Mzda výrobního dělníka na celou sérii	[Kč]
N_{Dt}	Počet trnů pro děrování	[ks]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{Dv}	Počet vyhazovačů pro děrování	[ks]
N_{Dz}	Počet zápusťek pro děrování	[ks]
n_{ksh}	Počet výroby kusů u operace za hodinu	[ks/hod]
N_m	Náklady na materiál jednoho kusu	[Kč]
$N_{nás}$	Počet nástrojů nutných pro výrobu celé série	[ks]
N_o	Hodnota vratného materiálu jednoho kusu	[Kč]
N_p	Náklady na podnikovou režii	[Kč]
N_{PDt}	Počet trnů pro předděrování	[ks]
N_{PDv}	Počet vyhazovačů pro předděrování	[ks]
N_{PDz}	Počet zápusťek pro předděrování	[ks]
N_{Pk}	Počet kladek pro protahování	[ks]
$n_{pnást}$	Součet všech nástrojů potřebných pro protahování	[ks]
N_{Pt}	Počet trnů pro protahování	[ks]
n_{ser}	Výrobní série	[ks]
$n_{unás}$	Součet všech nástrojů potřebných pro uzavírání	[ks]
N_{Up}	Počet podložek pro uzavírání	[ks]
N_{Uz}	Počet zápusťek pro uzavírání	[ks]
O'	Objem děrovaného výkovku	[mm ³]
O_1	Objem první části protaženého výkovku	[mm ³]
O_2	Objem druhé části protaženého výkovku	[mm ³]
O_3	Objem třetí části protaženého výkovku	[mm ³]
O'_3	Objem třetí části děrovaného výkovku	[mm ³]
O_4	Objem čtvrté části protaženého výkovku	[mm ³]
O'_4	Objem čtvrté části děrovaného výkovku	[mm ³]
O_5	Objem páté části protaženého výkovku	[mm ³]
O'_5	Objem páté části děrovaného výkovku	[mm ³]
O_6	Objem šesté části protaženého výkovku	[mm ³]
O_c	Celkový objem protaženého výkovku	[mm ³]
O_i	Objem tělesa rozděleným elementárními rovinami	[mm ³]
O_o	Objem elementu vnější části ogivalu	[mm ³]
O_p	Objem výchozího polotovaru	[mm ³]
P	Tvářecí síla při děrování výkovku dle Schneidera	[N]
r	Velikost zaoblení výronkové drážky	[mm]
R_1	Vzdálenost těžiště první plochy od osy x	[mm]
R_{eh}	Mez kluzu	[Mpa]

Označení	Legenda	Jednotka
R_i	Vzdálenost těžiště ploch od osy x	[mm]
R_m	Pevnost	[Mpa]
R_n	Vzdálenost těžiště elementu od osy x	[mm]
S_i	Plocha rozdělená elementárními rovinami	[mm ²]
S_n	Plocha elementu	[mm ²]
S_v	Obsah plochy výkovku	[mm ²]
$S_{výk}$	Plocha výkovku	[mm ²]
$S_{výr}$	Plocha výronkové drážky	[mm ²]
t	Tloušťka protaženého výkovku	[mm]
t'	Tloušťka děrovaného výkovku	[mm]
t_{celk}	Celkový čas pro výrobu všech kusů výkovků	[min]
t_k	Čas pro výrobu jedné součást	[min]
t_s	Čas výroby jednoho předděrovaného výkovku	[min/ks]
t_{sder}	Čas výroby celé série děrovaných výkovků	[min]
$t_{seř}$	Čas potřebný na upínání a seřízení nástrojů	[min]
t_{spred}	Čas výroby celé série předděrovaných výkovků	[min]
t_{sprot}	Čas výroby celé série protahovaných výkovků	[min]
t_{suzav}	Čas výroby celé série uzavřených výkovků	[min]
V_d	Objem výronkové drážky	[mm ³]
V_o	Objem materiálu spotřebovaného na opal	[mm ³]
V_{pol}	objem polotovaru	[mm ³]
V_v	objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	objem materiálu spotřebovaného na výronek	[mm ³]
$Z_{nás}$	Životnost nástroje	[ks]
α	Úhel ústí protaženého výkovku	[°]
α'	Úhel ústí děrovaného výkovku	[°]
β	Úhel zadní části protaženého výkovku	[°]
β'	Úhel zadní části Děrovaného výkovku	[°]
σ_p	Přetvárný odpor materiálu 11 503 za kovací teploty	[Mpa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady zápustkových výkovků [9].....	9
Obr. 2 Tvar těla dělostřeleckého granátu.....	10
Obr. 3 Základní rozměry těla granátu	10
Obr. 4 Odlévání [11].....	11
Obr. 5 Třískové obrábění [12].....	12
Obr. 6 Zápustkové kování [16].....	12
Obr. 7 Schéma elastické a plastické deformace [19].....	13
Obr. 8 Základní schéma hlavních napětí.....	14
Obr. 9 Schéma deformace (tahová, tlaková, smyková).....	14
Obr. 10 Ohýbání trubek [20].....	15
Obr. 11 Výkovky [21].....	15
Obr. 12 Zápustkové kování [10].....	16
Obr. 13 Příklad dělicích rovin [22].....	17
Obr. 14 Výkovek s přídavky [23].....	17
Obr. 15 Tvářecí teploty [1].....	19
Obr. 16 Buchar KHZ 4A [27].....	20
Obr. 17 Svislý kovací lis LZK 2500 P/SH [28].....	21
Obr. 18 Schéma základních výrobních operací granátu.....	23
Obr. 19 Děrování [2].....	24
Obr. 20 Protahování [2].....	24
Obr. 21 Uzavírání ústí [2].....	24
Obr. 22 Schéma děrovacího nástroje [2].....	24
Obr. 23 Schéma nástroje pro uzavírání ústí [2].....	25
Obr. 24 Schéma protahovacího nástroje [2].....	25
Obr. 25 Hydraulický lis se dvěma berany [26].....	25
Obr. 26 Granát.....	27
Obr. 27 Obecné vlastnosti.....	27
Obr. 28 Rozměry výkovku.....	27
Obr. 29 Rozdělení vnitřní části ogivalu na elementární plochy.....	28
Obr. 30 Rozvinutý tvar granátu	30
Obr. 31 Schéma výkovku po protažení s přídavky na ústí.....	30
Obr. 32 Určení objemů výkovku.....	31
Obr. 33 Děrovaný výkovek.....	33

Obr. 34 Předděrování.....	34
Obr. 35 Polotovár.....	34
Obr. 36 Hydraulický lis řady CTH [26].....	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické vlastnosti oceli 11 503 [18].....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 503[18].....	11
Tab. 3 Úkosal zápusťkových výkovků [1].....	18
Tab. 4 Kovací teploty ocelí [25].....	19
Tab. 5 Výpočet průměrů $d_1...d_{10}$ vnitřního tvaru rozvinutého ogivalu.....	29
Tab. 6 Parametry lisu CTH 630 [26].....	35
Tab. 7 Vstupní hodnoty pro výpočet výrobních nákladů	36
Tab. 8 Celkové náklady na sérii 200 000 ks.....	40

SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres těla střely	BP_1_183468
Výkres výkovku	BP_2_183468
Rozevřený ogival	BP_3_183468
Děrovaný výkovek	BP_4_183468
Předděrovaný výkovek	BP_5_183468
Polotovár	BP_6_183468
Zápusťka pro děrování	BP_7_183468
Trn pro protahování	BP_8_183468